

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DEL DISTRITO DE RIEGO DEL MUNICIPIO DE REPELÓN, ATLÁNTICO

Jarif Jalef Garrido Atencia
María Marcela Licona Polo



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

Universidad de la Costa (CUC)

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Ingeniería Ambiental

Barranquilla

2017

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DEL DISTRITO DE RIEGO DEL MUNICIPIO DE REPELÓN, ATLÁNTICO

Jarif Jalef Garrido Atencia
María Marcela Licon Polo

Trabajo de grado para otorgar el título de:
Ingeniero Ambiental

Director
MSc. Leandro Gómez Plata
Co-Director
MSc. Eliana Martínez Mera



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

Universidad de la Costa (CUC)

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Ingeniería Ambiental

Barranquilla

2017

Agradecimientos

Principalmente quiero agradecer a mi madre por darme la oportunidad de formarme como profesional y llegar tan lejos a pesar de todas las adversidades, por siempre estar a mi lado, por ser mi máxima motivación y mi más grande bendición. Te amo Mamá

A mi hermano por siempre motivarme a ser cada vez mejor, por apoyarme en cada decisión de mi vida, guiarme por el buen camino, por darme fuerza en los momentos de flaqueza y ayudarme a mantenerme en pie, sin duda ha sido una gran bendición poder tenerlo a mi lado.

A mis primos por darme la energía y alegría para continuar cada día.

A mi tío que aunque ya no está, fue como un padre para mí y me acompañó en cada proceso de mi vida.

Por ultimo quiero agradecer a Jair Camacho por ser esa persona importante en mi vida que cada día fue de gran ayuda para motivarme a llevar a cabo la culminación de este proyecto, por su comprensión, ternura, alegría y compañía.

Jarif Garrido Atencia

Gracias a Dios, primeramente, porque sin él nada de esto sería posible. Gracias a mi madre, abuela y hermana, por su apoyo incondicional, y todos los esfuerzos que hacen a diario, para que salga adelante, siendo una gran profesional, pero sobre todo una persona de bien, gracias a ellas por su comprensión y motivación en los momentos, de angustia, miedo, dudas, etc. a lo largo de todo este proceso formativo, pero sobre todo gracias por todo ese cariño que me brindan, gracias por ser mi familia.

Quisiera agradecer a una persona que representa mucha importancia en mi vida, una persona que me ha brindado su apoyo incondicional de manera desmedida, una persona que siempre está ahí disponible para mí, para escucharme y darme un buen consejo, esa persona que me motiva a

superarme cada día para ser mejor y siempre está dándome ánimo para que no me rinda en cumplir todas mis metas. Por todo esto y más, quiero agradecerte a ti Héctor A. Reales Díaz.

María Marcela Licona Polo

Principalmente agradecemos a nuestro asesor MSc. Leandro Gómez por brindarnos sus conocimientos, orientación, paciencia, esfuerzo y dedicación de su valioso tiempo y por haber sido la principal razón para llevar a cabo este proyecto.

De igual forma queremos agradecer de manera especial a la MSc. Eliana Martínez por brindarnos su tiempo y asesoramiento desde el comienzo hasta el final, por su paciencia, comprensión y acompañamiento.

A nuestra laboratorista Ana Belén, por brindarnos su amistad, atención y compañía en los tiempos de angustia y a Erika Arbeláez por su acompañamiento y colaboración.

A Carlos Guerra por ser una motivación durante la ejecución de este proyecto y a Anderson Valencia por su colaboración.

Finalmente agradecemos a todas aquellas personas que, de cierta manera, formaron parte de este proceso.

Contenido

Resumen.....	10
1. Introducción.....	14
2. Objetivos.....	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. Marco de referencia	18
3.1 Descripción del problema.....	18
3.2 Estado del arte	20
3.3 Marco teórico	25
4. Marco contextual	30
4.1 Área de estudio.....	30
4.1.1 Aspectos generales del municipio de repelón atlántico.....	31
4.1.2 Hidrografía.....	31
4.1.3 Clima.	31
4.1.4 Agricultura.....	32
5. Metodología.....	33
5.1 Fase de campo	33
5.2 Fase experimental.....	33
5.2.1 Parámetros físicos.....	33
5.2.2 Parámetros Químicos.....	34
5.3 Análisis estadístico	39
6. Análisis y discusión de resultados	41
6.1 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos del suelo.....	42
6.2.1 Textura.....	42
6.2.2 Humedad.....	44
6.2.3 Salinidad (ppm de sales).....	45
6.2.4 Color	47
6.2 Descripción de la fertilidad en el suelo	49
6.2.1 Acidez del Suelo (pH)	50
6.2.2 Materia Orgánica del suelo (MO).....	52
6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100 g).....	54
6.2.4 Nitrógeno (N)	55

6.2.5 Fósforo disponible (mg kg^{-1})	57
6.2.6 Fertilidad actual de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.....	58
6.3 Análisis estadístico y variabilidad de los parámetros fisicoquímicos	59
6.3.1 Correlación de los parámetros fisicoquímicos.....	67
6.3.2 Agrupación de los parámetros fisicoquímicos.....	69
7. Conclusiones.....	73
8. Recomendaciones	75
9. Bibliografía.....	76
10. Anexos	84

Lista de figuras

Figura 1. Localización geográfica del Distrito de Riego de Repelón.	30
Figura 2. Parámetros que no presentaron variabilidad estadística en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.	63
Figura 3. Parámetros con variabilidad estadística.	66
Figura 4. Grado de asociación de los parámetros fisicoquímicos, a) dendograma; b) Análisis de componentes principales.	70

Lista de tablas

Tabla 1. Uso actual del suelo de las zonas estudiadas.	41
Tabla 2. Textura de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.....	44
Tabla 3. Humedad de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.....	45
Tabla 4. Conductividad y contenido de salinidad en los suelos del Distrito de Riego de Repelón.	45
Tabla 5. Color presente en el suelo en la temporada de sequía.	48
Tabla 6. Color presente en el suelo en la temporada de lluvia.....	49
Tabla 7. Valores de pH de los suelos del distrito de riego de Repelón.....	51
Tabla 8. Materia orgánica del suelo en la zona de estudio.	53
Tabla 9. Capacidad de intercambio catiónico de los suelos.....	54
Tabla 10. Contenido de nitrógeno en los suelos del distrito de riego de Repelón.	56
Tabla 11. Contenido de fósforo en los suelos del distrito de riego de Repelón.....	57
Tabla 12. Análisis estadístico Kruskal Wallis de las variables fisicoquímicas de los suelos agrícolas	59
Tabla 13. Variables con diferencias estadísticas ($p < 0.05$) de acuerdo a la época.	64
Tabla 14. Correlación Ordinal de Spearman aplicada a las propiedades fisicoquímicas de los suelos evaluados.....	67

Lista de abreviaturas

ACP	Análisis de Componentes Principales
Al	Aluminio
B	Boro
Ca	Calcio
CE	Conductividad Eléctrica
CE _a	Conductividad Eléctrica Aparente
CIC	Capacidad de Intercambio Catiónico
Cl	Cloro
CO	Carbono Orgánico
COS	Carbono Orgánico del Suelo
Cu	Cobre
Fe	Hierro
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
K	Potasio
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
MO	Materia Orgánica
N	Nitrógeno
Na	Sodio
P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrógeno
Zn	Zinc

Resumen

El departamento del Atlántico se caracteriza por sus suelos planos y ondulados, fertilidad moderada baja y un déficit de humedad durante gran parte del año, dificultando el desarrollo de las actividades agrícolas. Sin embargo, en el sur del departamento, el municipio de Repelón se reconoce por su actividad agrícola, no obstante, no hay estudios que reporten la calidad del suelo de esta región.

El presente trabajo evaluó características fisicoquímicas de suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón, con el objetivo de diagnosticar el estado actual de la fertilidad y su variabilidad según la época de sequía (junio) o lluvia (octubre) en el 2016. Se seleccionaron 10 puntos de muestreo en la época seca y 12 en la temporada de lluvia, tomando muestras a una profundidad de 0-30 cm por duplicado. Las propiedades evaluadas fueron humedad, textura y color correspondiente al análisis físico y pH, salinidad, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (N) y fósforo disponible, en el análisis químico. Se realizó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis y las comparaciones de los rangos con un p-valor <0.05 . Se encontró que de acuerdo la temporada, la MO y el N fueron los únicos parámetros que presentaron diferencias significativas, los mayores valores en la época de sequía fueron 6.16% y 0.203% y en la época de lluvia fueron 4.71% y 0.154%, respectivamente. Adicionalmente, se empleó la correlación de Spearman para conocer el grado de asociación entre los parámetros. La CIC fue el mejor parámetro que se relacionó con las demás propiedades evaluadas. Finalmente, por medio de una prueba de conglomerados y Análisis de Componentes Principales (ACP) se verificó la agrupación de las variables analizadas, obteniendo tres grupos significativos: pH y salinidad; CIC y humedad y, MO, N y P.

De acuerdo a las características fisicoquímicas de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón, este se encuentra en condiciones óptimas en términos de fertilidad, es decir, permiten el desarrollo de actividades agrícolas con prácticas de manejo que no representen un grado de afectación significativo al suelo. Además, durante la temporada de sequía, época donde no se desarrolla actividad agrícola, los suelos mejoran sus propiedades fisicoquímicas. Finalmente, se recomienda implementar prácticas que permitan mejorar la calidad del suelo durante la época de lluvia para un mejor desarrollo de actividades agrícolas.

Palabras claves: Agricultura, Calidad del suelo, Conservación, Fertilidad.

Abstract

The Atlantic department is characterized by flat and undulating soils, moderate low fertility and a lack of humidity during much of the year, obstructing the development of agricultural activities. However, in the south of the department, the municipality of Repelón is recognized by its agricultural activity, nevertheless, there are no studies that report the quality of soil in this region. The present work evaluated physicochemical characteristics of agricultural soils of the Repelón Irrigation District, with the objective of diagnosing the current state of fertility and its variability according to the dry season (June) or rainy season (October) in 2016. Ten sampling points were selected in the dry season and twelve in the rainy season, sampling at a depth of 0-30 cm in duplicate. The evaluated properties were moisture, texture and color corresponding to the physical analysis and pH, salinity, organic matter (OM), cation exchange capacity (CIC), total nitrogen (N) and available phosphorus in the chemical analysis. The non-parametric Kruskal Wallis test and the comparisons of the ranges with a p-value <0.05 was made, and it was found that according to the season, OM and N were the only parameters that presented significant differences, the highest values in the dry season were 6.16% and 0.203%, and in the rainy season were 4.71% and 0.154%, respectively. In addition, the Spearman correlation was used to know the degree of association between the parameters. The CIC was the best parameter that was related to the other evaluated properties. Finally, through of a test of conglomerates and Analysis of Principal Components (PCA) the grouping of the analyzed variables was verified, obtaining three significant groups: pH and salinity; CIC and moisture and, OM, N and P. According to the physicochemical characteristics of the agricultural soils of the Repelón Irrigation District, this one is in optimal conditions in terms of fertility, that is to say, allow the development of agricultural activities with

management practices that do not represent a significant degree of soil affectation. In addition, during the dry season, when agricultural activity is not developed, soils improve their physicochemical properties. Finally, is recommended to implement practices that allow to improve the quality of the soil during the rainy season for a better development of agricultural activities

Keywords: Agriculture, Soil quality, Conservation, Fertility.

1. Introducción

El suelo es considerado uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es un constituyente fundamental en los ecosistemas terrestres para la nutrición y sostén de las plantas (Abi-Saab Arrieche, 2012). Su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria (García et al., 2012). El suelo es un componente indispensable para la producción agropecuaria (Abi-Saab Arrieche, 2012). El uso y manejo apropiado de los suelos, teniendo en cuenta su aptitud, es la forma más importante para conservar el medio edáfico, de lo contrario se generan procesos de degradación que ocasionan no solo pérdida de la capacidad productiva si no impactos ambientales, sociales y económicos negativos (UPRA, 2013).

Para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción es necesario conocer algunas propiedades que permitan definir la calidad del suelo (García et al., 2012), ya que esta se ha definido como la condición que le permite funcionar dentro de los límites de ecosistemas naturales o manejados para mantener la sostenibilidad de la productividad animal y vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua, aire y la salud de los seres humanos (UPRA, 2013).

El incremento urbanístico en los últimos años ha sido consecuencia del crecimiento demográfico, lo que ha provocado que muchos suelos fértiles sean utilizados para actividades inadecuadas que generan degradación del suelo mediante la erosión y la lixiviación de sus nutrientes, lo que da como resultado poca eficiencia en las actividades agrícolas (Pérez-López, 2013).

En el suelo se llevan a cabo la mayoría de las actividades humanas, sirviendo de soporte físico y de infraestructura para la agricultura, actividades forestales, recreativas, pecuarias, a nivel industrial y además es utilizado para viviendas (Huerta Cantera, 2010), por tal razón es importante

el cuidado del suelo, ya que cuando este se deteriora es muy poco probable que vuelva a recuperar sus condiciones naturales.

La actividad agrícola tradicional y el cambio en el uso del suelo a nivel mundial se ha caracterizado por el manejo intensivo de la tierra, lo que conlleva al deterioro del recurso suelo, el cual se manifiesta en problemas físicos y químicos (Jaurixje et al., 2013), ya que el laboreo excesivo actúa pulverizando los agregados del suelo, disgregándolos y deteriorando toda su estructura, provocando una disminución de los poros del suelo que produce una baja capacidad de infiltración del agua a este, ocasionando un aumento de la escorrentía y la erosión del suelo (Estupiñan et al., 2009) por lo tanto, estos cambios frecuentemente provocan alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo. De igual manera, el cambio y/o la intensificación del uso y a las prácticas agrícolas utilizadas con el fin de transformar las condiciones edáficas presentes y así cumplir los requerimientos físicos y químicos del cultivo a establecer, ocasionan una pérdida o un mejoramiento de la calidad del suelo (Jamioy Orozco, 2011). Corbella & Fernández (2010) reportan que las tierras cultivadas tienen niveles de materia orgánica más bajos que los que tienen áreas con cobertura vegetal, lo cual afecta la fertilidad del suelo.

Los problemas mencionados anteriormente conllevan a que en la actualidad se busquen metodologías que permitan aplicar un desarrollo sostenible, es decir implementar la sostenibilidad agrícola en los sistemas de producción, ya que esta, está definida como la capacidad que tiene un agroecosistema de producir alimentos y fibras, sin comprometer las funciones y condiciones del suelo, es decir que la actividad agrícola no afecte negativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, manteniendo siempre la aptitud para el uso y que su capacidad funcional sea constante al transcurrir el tiempo (Jamioy Orozco, 2011).

Las propiedades de los suelos se ven afectadas dependiendo del manejo que se le dé al mismo a través del uso de maquinaria, riego, utilización de agroquímicos para fertilización o manejo de plagas, enmiendas orgánicas y los tipos de cultivos, por lo tanto, las propiedades de los suelos son dinámicas y están asociadas principalmente al uso y a su función (Jamioy Orozco, 2011). Por tal razón, al momento de llevar a cabo alguna actividad agrícola en el suelo es necesario conocer las propiedades que este presenta y su fertilidad, sin embargo, el hecho de que un suelo sea fértil no quiere decir que sea productivo, ya que para que las plantas tengan un buen desarrollo es indispensable la presencia de ciertos componentes (humedad, pH, MO, N, P, CIC) que permitan que se pueda dar un buen crecimiento, un ejemplo es el P, ya que este puede estar en altas cantidades en el suelo, pero no es aprovechable por las plantas, lo cual hace que no se dé un buen desarrollo de los cultivos.

En el departamento del Atlántico, específicamente el municipio de Repelón se caracteriza por su actividad agrícola, sin embargo no hay estudios que reporten la calidad del suelo, para esto es necesario llevar a cabo una caracterización de las propiedades físicas y químicas que permitan conocer el estado actual de la fertilidad del suelo, de esta manera, se puede generar información para futuros proyectos agrícolas y la consolidación del municipio de Repelón como despensa agrícola del departamento del Atlántico.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar las características fisicoquímicas de suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón y a su vez determinar la variación y relación existente entre los parámetros analizados para cada una de las zonas estudiadas.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Determinar la fertilidad actual de los suelos agrícolas del distrito de riego de Repelón evaluando parámetros fisicoquímicos.
- ❖ Establecer el grado de asociación entre las propiedades fisicoquímicas de los suelos agrícolas utilizando métodos estadísticos estandarizados.

3. Marco de referencia

3.1 Descripción del problema

El departamento del Atlántico está caracterizado por tener suelos planos y ondulados, presentan una temperatura cálida, un déficit de humedad durante gran parte del año y una fertilidad moderada baja; lo que permite que no se desarrolle una extensiva actividad agropecuaria. A su vez, al sur cuenta con una zona cenagosa e inundable donde se encuentra el embalse del Guájaro (Bonet, 1999), siendo esta parte del departamento la zona agrícola del mismo. El departamento de Atlántico abarca un total de 331.458 hectáreas, de las cuales el 73% tienen conflictos por el uso del suelo, formado por un 24% de sobreutilización y un 49% de subutilización, producto del uso inadecuado y las malas prácticas en el aprovechamiento de este recurso. Repelón es uno de los municipios del Atlántico más afectados por este tipo de conflictos, siendo la sobreutilización del suelo el conflicto predominante en la zona (IGAC, 2014). El 50% del costado occidental del municipio de Repelón presenta suelos formados a partir de materiales sedimentarios arcillosos, de baja evolución, superficiales, bien drenados, de fertilidad baja a moderada y susceptibles a la erosión (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006). Estos niveles de fertilidad en el suelo se encuentran relacionados con a la composición química de los constituyentes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio edáfico.

El estado de las propiedades fisicoquímicas en el suelo determina la calidad y salud del mismo, es de aquí donde radica la importancia que tiene su evaluación (Bautista Cruz et al., 2004). Para Buol (1995), el uso del suelo se debe de fundamentar en la capacidad que tiene éste para proporcionar elementos esenciales, ya que éstos son agotables y limitan, por lo tanto, la productividad. Las propiedades fisicoquímicas determinan la utilidad del suelo para un uso específico en un periodo de tiempo, es decir la capacidad que tiene el suelo para funcionar (Bautista Cruz et al., 2004).

La medición de parámetros de calidad del suelo se ha convertido en una herramienta que permite estimar el nivel de degradación del suelo y a su vez, plantear estrategias de recuperación, cimentando una base para la toma de mejores decisiones en cuanto al manejo del suelo (Vallejo Quintero, 2013). Las características fisicoquímicas del suelo, deben ser conocidas por los agricultores, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están directamente relacionados en con la riqueza nutritiva y las características de los suelos (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 1991).

Tenido en cuenta los conflictos del suelo y la variabilidad del área cultivable del mismo a través de la última década se plantea la siguiente pregunta problema. ¿Cuál es la situación actual de las características fisicoquímicas de los suelos con actividad agrícola del distrito de riego de Repelón?

3.2 Estado del arte

El análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo, permite obtener la información necesaria para conocer el comportamiento del suelo, determinar y cuantificar los nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en él, estableciendo criterios acerca de la calidad del suelo estudiado.

El suelo proporciona una amplia gama de servicios ecosistémicos, pero este ha estado sometido a un deterioro de la calidad debido a factores tanto naturales (altas precipitaciones, temperaturas muy elevadas, erosión natural, entre otros) como antropogénicos (deforestación, mal uso del suelo, sobrepastoreo, sustancias químicas, entre otros) (Firdous et al., 2016), generando deficiencia de los nutrientes disponibles para las plantas, lo que conlleva a que no puedan proporcionar niveles óptimos de productividad en el rendimiento de los cultivos.

A nivel mundial se han realizado muchos estudios para conocer la fertilidad del suelo utilizando diversas metodologías. En vecindades de Beijing, Hu et al. (2014) utilizó estadística descriptiva y métodos geoestadísticos, para comparar los patrones espaciales de los parámetros químicos de MO y N total del suelo, concluyendo que la manipulación de las prácticas agrícolas y los tipos de uso del suelo deben ser considerados para la mejora de los niveles de MO del suelo y N total del suelo. En la provincia de Córdoba (Argentina), Simón et al. (2013) realizaron un estudio sobre la relación entre la conductividad eléctrica aparente (CEa) con las propiedades del suelo y los nutrientes. Para este trabajo se seleccionaron dos lotes ubicados al sur de la provincia. Las propiedades de los suelos fueron analizadas usando estadísticos descriptivos, correlaciones simples y ANOVA. El análisis estadístico descriptivo se realizó para conocer la variación de la CEa, las propiedades del suelo y nutrientes. Se obtuvo promedios similares de CEa entre ambos lotes lo cual es atribuible a que están compuestos por los mismos tipos de suelo, además todas las propiedades de suelo y

nutrientes presentaron variabilidad media a alta a excepción del pH del suelo. Por medio del análisis de correlación simple, encontraron que los contenidos de partículas finas (arcilla + limo), partícula gruesa (arena) y MO fueron las propiedades del suelo que presentaron correlaciones altamente significativas en cada lote. Esto se debe a que las partículas finas tienen mayor contenido de poros pequeños que retienen más agua, lo que permite conducir mejor la conductividad (Rhoades et al., 1989) y algunos componentes de la MO son responsables de la estabilización y formación de los agregados del suelo, generando poros y microporos continuos (Lal, 2004), aumentando la capacidad de conducir corriente eléctrica.

Por otro lado, Pingping & Ming'an (2014), investigaron una región del desierto de Gobi (China) de aproximadamente 40 km². Donde se buscó estimar y determinar las concentraciones y la distribución espacial de COS respectivamente, analizar las relaciones entre las concentraciones de COS y factores ambientales, y estimar la densidad y el almacenamiento de SOC en el área de estudio. Utilizando un análisis estadístico descriptivo, dentro del cual se realizaron pruebas como la de Kolmogorov-Smirnov, un análisis de varianza unidireccional (ANOVA), entre otras, como también métodos geoestadísticos como el cálculo de semivariogramas, la validación cruzada, kriging, entre otros, para el cumplimiento de los objetivos. En este estudio se encontraron correlaciones significativas entre el COS y las propiedades físicas del suelo, especialmente el contenido de grava, arena y limo. Los investigadores concluyeron que la distribución del tamaño de partícula del suelo y la meteorización que condujeron a su formación pueden ser responsables de la fuerte dependencia espacial del COS, y que esta dependencia implica que el COS en ecosistemas desérticos es sensible al cambio climático y, por lo tanto, representa un importante grupo dinámico de carbono en el ciclo de carbono global.

En Colombia son pocos los estudios relacionados con los parámetros fisicoquímicos y la calidad del suelo. Sin embargo, Vásquez et al. (2010), caracterizaron las propiedades físicas (humedad, textura, densidad aparente, conductividad hidráulica y resistencia a la penetración) y químicas (MO, pH, CIC, N, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, Cu, Zn, Fe, Mn, B) de los suelos a 25 cm de profundidad en la Granja Experimental de la Universidad del Magdalena en Santa Marta, realizando un análisis de los datos empleando enfoques univariado, geoestadístico y multivariado. El análisis de enfoque univariado permitió de acuerdo al grado de variabilidad de cada propiedad en términos de coeficiente de variación, establecer cuatro categorías: relativamente homogéneas, moderadamente heterogéneas, normalmente heterogéneas y extremadamente heterogéneas, lo cual permitió deducir que los suelos de la granja presentan niveles de variación altos, asociados a con una heterogeneidad en toda el área de estudio. El análisis de la variabilidad (enfoque geoestadístico) generó semivariogramas para las propiedades físicas y químicas que presentaron estructuras diferentes de dependencia espacial, ya que en ningún caso la semivarianza es constante en función de la distancia. Finalmente el análisis multivariado (análisis por componentes principales), permitió conformar tres y cuatro componentes principalmente que explicaron el 72% y 66% de la variación, siendo las variables textura, Na⁺ y pH las que más influyen en la diferenciación de las condiciones de suelos. Con los resultados obtenidos de este estudio se pudo conocer los atributos del suelo, sus potencialidades o limitantes, proporcionando una guía para la toma de decisiones a fin de implementar practicas agronómicas acordes con las características físicas y químicas específicas del suelo.

En el departamento de Cundinamarca, Roveda, et al. (2012) realizaron un diagnóstico de la fertilidad química de los suelos en los municipios de Granada y Silvania para la producción de uchuva, con la caracterización química se evaluaron los principales componentes del suelo: pH,

acidez intercambiable, aluminio intercambiable, textura, MO, P, bases intercambiables, CIC y CE. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente con el fin de determinar asociaciones entre las propiedades químicas del suelo por medio del análisis de correlación lineal simple de Pearson. Para la comparación de los municipios usaron un análisis de varianza sin restricciones de significancia, para conjugar propiedades del suelo en un número reducido de variables, utilizando un análisis de componentes principales, y se aplicaron análisis de frecuencia sobre los rangos de valores de los contenidos de nutrientes. Como resultado, obtuvieron que los suelos de las zonas productoras de uchuva presentan fuertes desbalances nutricionales y deficiencias en contenidos de nutrientes para el desarrollo de los cultivos. Respecto a la comparación entre los municipios se obtuvo que los suelos difieren significativamente entre las zonas productoras de Granda y Silvania, especialmente en los contenidos de materia orgánica, lo cual conlleva a la posibilidad de utilizar biofertilizantes para contribuir a la disponibilidad de los nutrientes.

Vargas et al. (2015), estudiaron la variabilidad de algunas propiedades físicas y químicas en un suelo tipo Fluventic Ustropepts (suelos formados a partir de materiales finos y moderadamente finos, tienen un drenaje natural que va de moderado a imperfecto, con tendencia al encharcamiento temporal. Son suelos que van de moderadamente profundos a profundos, están limitados por horizontes masivos, compactados. Su nivel de fertilidad es alto, pero con una relación calcio - magnesio invertida en algunos de ellos) en cultivos de caña, pasto y moringa en la cuenca baja del río Las Ceibas en el departamento de Huila. En este estudio se realizó un muestreo aleatorio simple y el análisis estadístico y descriptivo se realizó con la utilización del software Statgraphic, se estudió la textura, porosidad, retención de humedad, y densidad real y aparente. Esta investigación tuvo como objetivo orientar la implementación de los cultivos, basándose en un diagnóstico físico-químico del suelo, apoyados en modelos geo-estadísticos, con el fin de mejorar las prácticas de

manejo de suelo. Los investigadores encontraron que, la infiltración del suelo resultó extremadamente heterogénea con un coeficiente de variación del 74,5% y dependencia moderada con rango de alcance de 610,9 m. Se delimitaron tres sectores para los cultivos mencionados, basados en los análisis del suelo según el uso potencial del suelo.

3.3 Marco teórico

Como suelos agrícolas se conocen los terrenos que han sido destinados para la producción de cultivos cuyo objetivo es satisfacer las necesidades alimentarias, comerciales agrícolas y agroindustriales (UPRA & IGAC, 2015). Este tipo de suelos normalmente se encuentra cubierto por una capa vegetal que le permite el aumento de nutrientes y materia orgánica, contribuyendo a la mejora de su estructura y a la protección frente a procesos erosivos (Miralles Mellado, 2006). La agricultura ha llevado su productividad a tal punto que las actividades de gestión agrícolas, como el riego no adecuado, labranza, la sobreutilización y la aplicación de productos químicos como fertilizantes y pesticidas han contribuido al deterioro de la calidad del suelo (Miralles Mellado, 2006) y a su vez afectando el rendimiento de los cultivos.

El suelo es un medio vulnerable; las prácticas no apropiadas generan presión sobre las tierras poco aptas, haciendo necesaria la evaluación de la calidad del suelo, la cual está relacionada con el estudio de las propiedades fisicoquímicas del suelo y ayuda a la determinación y cuantificación de los nutrientes y, compuestos orgánicos e inorgánicos. Del mismo modo, proporciona información para decretar un juicio con respecto la productividad, manteniendo la fertilidad, sostenibilidad y calidad ambiental del medio edáfico. Larson & Pierce (1991) plantearon algunos parámetros para la evaluación de la calidad de los suelos basándose en las funciones que estos desempeñan, así como sus respectivas metodologías y estandarización para evaluar cambios en la calidad de esos componentes. Para que se pueda llevar a cabo un buen desarrollo de la fertilidad en el suelo, es necesario que se cumpla con ciertas condiciones y algunos factores fundamentales (Huerta Cantera, 2010).

Las propiedades físicas de los suelos dependen mucho del uso dado por el hombre ya que refleja el comportamiento del agua y las limitaciones en la emergencia y desarrollo de las plántulas

(Bautista Cruz et al., 2004). Las condiciones climáticas (húmedas y secas) están muy relacionadas con las propiedades físicas como: humedad, textura y color. El contenido de humedad del suelo es una de las características más específicas y está dada principalmente por componentes naturales como la textura del suelo, el contenido de MO y la composición de las fracciones minerales y orgánicas. Igualmente, existen factores externos que influyen en este parámetro como las precipitaciones, el riego artificial y el consumo del agua en el suelo causado por la evapotranspiración (Jaramillo, 2002).

La textura del suelo es una propiedad que establece las cantidades relativas que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm. En el suelo, la textura se agrupa en tres clases según su tamaño: arena (0.05 – 2 mm), limo (0.02 – 0.05 mm) y arcilla (menor que 0.02 mm) (Jaramillo, 2002). La proporción y magnitud de muchas reacciones físicas, químicas y biológicas están dirigidas por la textura, ya que ésta determina el tamaño de la superficie en donde ocurren las reacciones, además de la facilidad que esta presenta al momento de trabajar la tierra, la sequedad, la fertilidad y la productividad que varían dependiendo la región geográfica (Huerta Cantera, 2010). Según Miralles Mellado (2006), una de las funciones asociada a la textura en el suelo es controlar la retención y, transporte del agua y los nutrientes, de igual manera, la asimilación e intercambio de oxígeno.

El color es una de las propiedades más notorias del suelo y está relacionada con los componentes sólidos. Entre los principales constituyentes del color se encuentran la materia orgánica y los óxidos de hierro. Para determinar el color del suelo de forma práctica, se puede hacer por medio del catálogo de colores ordenados en unas secuencias específicas, contenidas en la tabla de Munsell, la cual es de fácil manejo en campo (Jaramillo, 2002).

Por otra parte, las propiedades químicas están relacionadas con la relación suelo-planta (Bautista Cruz et al., 2004), determinada por los componentes orgánicos e inorgánicos del suelo, al igual que los fenómenos que dan lugar a la mezcla de dichos componentes (Huerta Cantera, 2010). De estas propiedades dependerá la disponibilidad e intercambio de nutrientes que tenga el suelo con las plantas. Entre los parámetros más importantes se encuentra el pH, salinidad, MO, CO, P, N y CIC.

El pH es una de las propiedades más importantes del suelo, ya que este establece el grado de acidez, neutralidad o alcalinidad que en él se presentan. Generalmente se observan suelos ácidos en zonas con alta precipitación, debido a las lixiviaciones de granes bases intercambiables en los niveles superficiales de los suelos, lo que ocasiona un incremento en el número de iones hidrógeno (H^+); a diferencia de los suelos alcalinos ya que estos se presentan en su mayoría en zonas áridas y semiáridas, por causa del alto grado de saturación de bases (Huerta Cantera, 2010). Este parámetro es uno de los más susceptibles a presentar cambios en su estado, debido a su variación en función del material original, la vegetación, el clima, la topografía, la actividad agrícola, el uso de fertilizantes nitrogenados y la MO (Miralles Mellado, 2006).

La salinidad en el suelo como su nombre lo indica, define la presencia de sales solubles. Estas sales pueden ser originadas por procesos naturales o antrópicos que de alguna manera conducen a una acumulación de sales (Otero et al., 2007) las cuales son consideradas un factor que amenaza la calidad de los suelos agrícolas, convirtiéndose en un limitante para la producción de alimentos y cultivos, los cuales pierden su potencial y rendimiento en condiciones altas de salinidad, esto debido a que la salinidad produce que el potencial osmótico del suelo supere al de las plantas, lo que limita la entrada de agua a la raíz de estas, lo que tiene un efecto negativo en el desarrollo del cultivo. La salinidad además trae consigo otra serie de problemas asociados, como lo son, la

absorción limitada de nutrientes, también la afectación de la transporte y el reciclado de iones en la planta, a su vez los excesos de algunos iones de sales pueden producir toxicidad en las plantas, la acumula de Cl, Na y B en distintas partes de las plantas, como las semillas, los tallos y las hojas, se producen también una serie de modificaciones debido a las variaciones de pH, que afectan a la disponibilidad de los nutrimentos. La presencia en exceso de determinados elementos, provoca incompatibilidad entre nitratos-cloruro, potasio-sodio, calcio-sodio (Castellanos, 2016). Teniendo en cuenta esto puede decirse que la salinidad es un influyente en la degradación del suelo, causando por ende una pérdida en la fertilidad del mismo (Solé & Cantón, 2005).

Larson & Pierce (1991) afirman que la MO constituye el indicador más importante de calidad y productividad del suelo. La MO está compuesta por residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición y es la propiedad del suelo responsable de regular los procesos químicos además de ser el centro de todas las actividades biológicas (Huerta Cantera, 2010). También, es un factor fundamental en la infiltración del agua y la aireación del suelo, igualmente, promueve la retención de agua y disminuye la erosión (Miralles Mellado, 2006). De igual manera, el carbono orgánico es uno de los principales componentes de los seres vivos y constituye un 69.8% del carbono orgánico de la biosfera, el suelo puede actuar como fuente o reservorio de carbono dependiendo de su uso y su manejo. El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en forma muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Martínez et al., 2008).

El N y P del suelo son elementos fundamentales para el crecimiento vegetal, debido a que indican la capacidad nutritiva del suelo (Miralles Mellado, 2006). Generalmente, para aumentar la disponibilidad de estos dos nutrientes y mejorar la productividad de los cultivos, se aplican

fertilizantes químicos al suelo (Cerón & Aristizábal, 2012). El P en el suelo es proveniente de las apatitas y depósitos de fosfato natural el cual es liberado por acción de la lixiviación erosión y procesos de meteorización. Este fosfato liberado es absorbido por las plantas, la masa microbiana y sedimentos, incorporándose finalmente en la materia orgánica del suelo y nuevamente se deposita en formas minerales poco solubles (Cerón & Aristizábal, 2012). Por su parte el N llega al suelo a través de aportes de materia orgánica y la fijación bacteriana a partir del aire (N_2). Estos nutrientes forman parte de los macronutrientes requeridos para el desarrollo vegetal, son esenciales para el crecimiento de las plantas, por lo tanto, sus funciones no pueden ser efectuadas por ningún otro nutriente (Munera & Meza, 2012).

La CIC permite determinar la disponibilidad de bases esenciales para mantener y suministrar nutrientes en suelos agrícolas y forestales (Miralles Mellado, 2006), considerado como determinante en la nutrición vegetal, por tal razón su evaluación es de especial relevancia (Henríquez et al., 2005). La CIC se encuentra relacionada con la conductividad eléctrica, ya que es la capacidad que tiene el suelo en transmitir cationes y aniones los cuales están considerados como nutrientes del suelo. Este parámetro está muy relacionado con la cantidad de sales que tiene el suelo y puede estimarse como indicador de la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo (Miralles Mellado, 2006).

Los sistemas agrícolas tradicionales se caracterizan por el manejo intensivo de la tierra, lo que conlleva al deterioro de la calidad del suelo (Jaurixje et al., 2013). Este deterioro puede presentarse afectando las propiedades físicas y químicas influyendo negativamente en productividad del medio edáfico. Es por eso que el conocimiento previo de las condiciones del suelo es de gran importancia para ejercer las actividades apropiadas y no causar empobrecimiento del suelo, convirtiéndolo en terreno inadecuado para la producción eficiente de los cultivos (Graetz, 2002).

4. Marco contextual

4.1 Área de estudio

El municipio de Repelón está ubicado geográficamente al sur occidente del Departamento del Atlántico, en la zona central de la Región Caribe, norte de Colombia, situado a 10°30' de Latitud Norte y 75°08' de Longitud Oeste (**Figura 1**). En su territorio se encuentra el Embalse del Guájaro y forma parte de los municipios donde se desarrolla la actividad agropecuaria del departamento del Atlántico. El municipio de Repelón cuenta a su vez con un distrito de riego que consta de una estación de bombeo la cual eleva el agua a dos dársenas, la que luego es suministrada por los canales de distribución superior e inferior que facilitan el riego por gravedad y aspersión (Escolar, 2009).

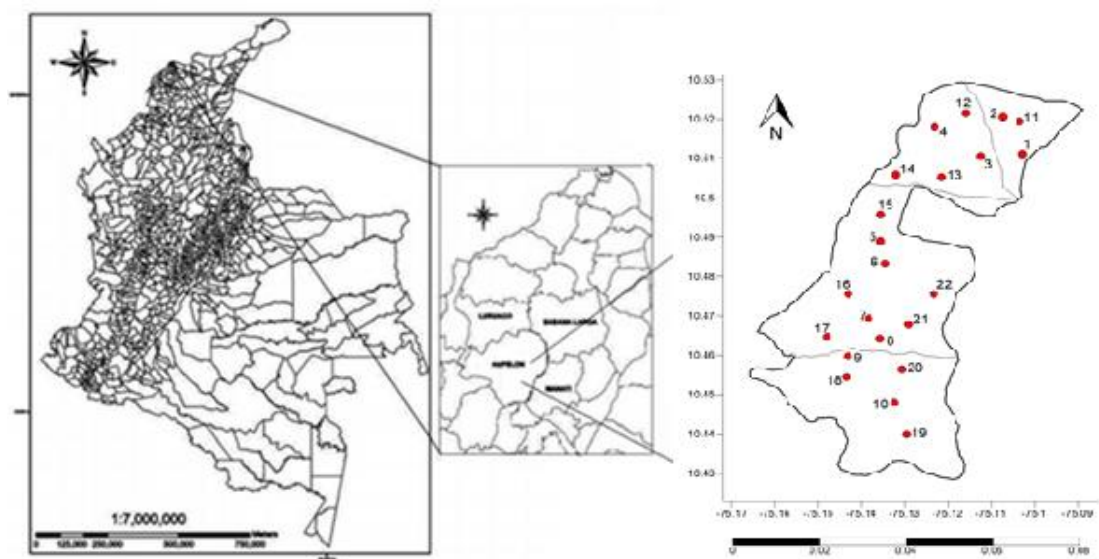


Figura 1. Localización geográfica del Distrito de Riego de Repelón.

(Modificado de Torres-Bejarano et al., 2016)

4.1.1 Aspectos generales del municipio de repelón atlántico.

El municipio de Repelón, cuenta con una extensión total de 330 km², donde el área urbana se extiende en unos 190.84 km², y el área rural en unos 169.5 km². La altitud de la cabecera municipal, se encuentra a 9 metros sobre el nivel del mar. El Municipio de Repelón cuenta con sistema de riego de cultivos por gravedad y por aspersión que capta el agua del embalse del Guájaro. Este Distrito de Riego cubre aproximadamente 3200 hectáreas y beneficia a más de 379 usuarios (Alcaldía de Repelón-Atlántico, 2012).

4.1.2 Hidrografía.

Su principal fuente acuífera es el Embalse del Guájaro el cual almacena unos 400 millones de metros cúbicos en 16.000 hectáreas aproximadamente; está ubicado al Oriente del casco urbano siendo el Municipio de Repelón el que cuenta con mayor jurisdicción sobre dicho Embalse. El resto del Municipio se halla atravesado por un conjunto de arroyos que solo se animan en épocas de invierno y la mayoría de ellos desaguan en el Embalse del Guájaro; ellos son: Henequén, Salado, Tronera, Chorro, Armadillo, Sábanas y Banco.

4.1.3 Clima.

El municipio de Repelón, cuenta con un clima Tropical presentando temperaturas promedio de 27.5 a 30 °C y precipitaciones de 972 mm.

A una temperatura media de 28.9°C, abril es el mes más caluroso del año en el municipio de Repelón y las temperaturas más bajas del año se producen en enero, donde se presentan alrededor de 27.6°C. En este municipio la precipitación más baja se presenta en el mes de enero, con un

promedio de 7mm y el mes de octubre se caracteriza por presentar la mayor cantidad de precipitación, con un promedio de 176 mm.

4.1.4 Agricultura.

En el municipio de Repelón, se cultiva algodón, tomate, maíz, sorgo, yuca, millo plátano, guayaba, papaya y mango, en la actualidad el cultivo de sorgo es el cultivo de preferencia de los Repeloneros (Alcaldía de Repelón, 2012).

5. Metodología

5.1 Fase de campo

Se seleccionaron 22 puntos de muestreo distribuidos en toda el área agrícola del Distrito de Riego del municipio de Repelón (Figura 1). Se realizaron dos muestreos, el primero se realizó en épocas de sequía en el mes de junio del 2016, y el segundo muestreo se realizó en época de lluvias en el mes de octubre del mismo año, tomando muestras mediante la aplicación de un muestreo aleatorio simple.

Los puntos se georreferenciaron previamente con un GPS, y en cada uno se tomó una muestra a una profundidad de 30 cm, luego de haber retirado el material vegetal de la superficie del suelo. Se tomó una réplica por cada muestra para un total de 44 muestras (20 en el primer muestreo y 24 en el segundo muestreo), se almacenaron en bolsas ziploc y fueron transportadas en neveras de icopor a temperatura ambiente (26°C), para ser procesadas en el laboratorio por un periodo de 4 meses, luego de su recolección.

5.2 Fase experimental

5.2.1 Parámetros físicos.

5.2.1.1 Humedad.

Se empleó el método gravimétrico descrito en el manual de Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos del IGAC (2006). Se tomaron capsulas de porcelana y se sometieron a secado a 105°C, por un tiempo de 2 horas. Transcurrido el tiempo se sacaron las capsulas y se dejaron reposar por 15 min en un disecador para ser pesadas. Posteriormente se agregaron 10 g de suelo húmedo a cada capsula y se sometieron a secado nuevamente durante 24 horas a una temperatura de 105°C, al cumplir el tiempo de secado se sacaron las capsulas y se dejaron reposar en el disecador por 15

min, se procedió a pesar cada una de las mismas, para proceder a realizar el respectivo cálculo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Pw(\%) = \frac{\text{peso suelo humedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo humedo}} * 100 \text{ (Ecuación 1)}$$

5.2.1.2 Textura.

La determinación de la textura se hizo a través del laboratorio certificado Zonas Costeras S.A.S. El método empleado fue Hidrómetro de Bouyoucos-Densímetro, método del IGAC adaptado a los suelos colombianos.

5.2.1.3 Color.

Se utilizó el método de Munsell, el cual consistió en una comparación del suelo con los colores establecidos en la versión modificada del libro de color del suelo Munsell (Munsell., 2009). Se pesaron 5g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, luego se agregaron 10 mL de agua y se mezcló hasta formar una pasta, manualmente se armó una esfera con dicha pasta, se procedió a comparar y determinar el color en húmedo del suelo utilizando el libro de Munsell. Para la determinación del color del suelo seco se realizó el mismo procedimiento con la muestra totalmente seca sin agregar agua.

5.2.2 Parámetros Químicos.

5.2.2.1 pH

El pH o acidez activa de las muestras, se midió a través del método potenciométrico descrito por la NTC 5264, la cual describe una relación suelo-agua (1:1, 1:2 a 1:5, según el tipo de suelo). Se

pesaron 10 g de suelo secado a una temperatura de 105°C y tamizado a 2 mm. Posteriormente, en un beaker de 150 ml, se agregaron 20 ml de agua destilada y se sometió la solución a agitación durante 10 min, posteriormente se procedió a medir el pH, utilizando un pH-metro (modelos pH 100A del fabricante YSI).

5.2.2.2 Salinidad

Se pesaron 10 g de suelo secado a una temperatura de 105°C y tamizado a 2 mm. En un beaker de 150 ml, se agregaron 20 ml de agua desionizada y se sometió la solución a agitación durante 10 min, posteriormente se procedió a medir la conductividad, empleando un conductímetro (modelo EC300 del fabricante Eco Sense).

Para determinar la salinidad presente en el suelo se utilizó un factor de conversión a través de la conductividad, utilizando la ecuación (GAT, 2014):

$$\text{Contenido de sales en la solución} = CE \text{ (dS/m)} * 0.64 \text{ (Ecuación 2)}$$

5.2.2.3 Nitrógeno Total

Para la determinación del nitrógeno total presente en el suelo, se utilizó método de oxidación vía húmeda de Kjeldahl, el cual se encuentra contemplado en la NTC 5889. Este método se basa en una digestión de la muestra en presencia de sustancias catalizadoras para convertir el nitrógeno del suelo a nitrógeno amoniacal y una destilación y cuantificación del nitrógeno obtenido.

Se pesaron 0.5 g de suelo, secado a 40°C y tamizado a 2 mm, los cuales se depositaron en tubos digestores con una pastilla Kjeldahl y 12 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄). Posteriormente se comenzó a digerir por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 400 °C, pasado el tiempo de digestión se procedió a la destilación. En un erlenmeyer de 250 ml, se agregaron 30 ml de solución

de ácido bórico al 4% (p/v) más indicador mixto, el proceso de destilación se hizo en presencia de hidróxido de sodio (NaOH) al 32% (p/v) lo cual permitió que se liberara el NH₃ contenido en la muestra. La muestra proveniente del proceso de destilación se recogió en un matraz que contenía los 30 mL de las soluciones mencionadas anteriormente. Finalmente se valoró la muestra empleando ácido clorhídrico (HCl) al 0.2N. La cantidad de nitrógeno en el suelo se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N(\%) = \frac{1.4 \times (V_m - V_b) \times N}{p} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

N (%) = porcentaje del nitrógeno total

V_m = volumen (mL) de solución de HCl en la muestra

V_b = volumen (mL) de solución de HCl gastado en el blanco

N = normalidad de solución titulante HCl (0.1)

p = masa de la muestra.

5.2.2.4 Fósforo Disponible

El método empleado para la determinación del fósforo total en el suelo, fue el método de Mehlich 3, descrito en la NTC 5350, el cual permite la extracción del fósforo mediante el uso de un extractante universal desarrollado por Adolf Mehlich.

Se pesaron 2.5 g de suelo, secado a 40°C y tamizado a 2 mm, se depositó en beaker de 150 ml al cual se le agregan 25 ml de solución de Mehlich, y se sometió a agitación por un tiempo de 5 min.

Terminada la agitación se filtró la mezcla y se recogió el extracto filtrado, para luego proceder a realizar una dilución, donde se tomó una alícuota del extracto de 100 µL y se llevó a un matraz aforado de 100 ml, a continuación se agregó una pastilla LR, se disolvió completamente en la

solución y se dejó reposar durante 10 min, seguidamente se agregó una pastilla HR, se disolvió completamente en la solución, se aforó con agua destilada y se dejó reposar durante 10 min. Cumplido el tiempo de reposo se procede a realizar inmediatamente la lectura en un fotómetro. La cantidad de fósforo en el suelo se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P(\text{mg/kg de suelo}) = CC \times V_f / A \times V_i / p \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

P (mg/kg de suelo) = fósforo presente en el suelo en mg/kg de suelo

CC = lectura del equipo

V_f= volumen final de la solución colorimétrica (mL)

A= alícuota del extracto usado (mL)

V_i= volumen de la solución empleada para hacer el extracto (mL)

p= masa de la muestra

5.2.2.5 Carbono Orgánico Total (COT)

El carbono orgánico presente en el suelo fue determinado empleando una oxidación húmeda por el método Walkley-Black (IGAC, 2006).

Se pesaron 0.3 g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, se transfirieron a un matraz erlenmeyer de 250 ml al que se le añadieron 10 ml de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), seguidos de 20 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄), se mezcló durante 30 segundos y se dejó enfriar por un tiempo de 30 min. Luego se agregó 70 ml de agua destilada hasta conseguir un volumen aproximado de 100 mL y se dejó enfriar. Posteriormente se agregó 1 ml de ácido fosfórico y se procedió a titular con sulfato ferroso amoniacal en presencia de ferroína como indicador. La cantidad de COT en el suelo se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{COT}(\%) = (Vb - Vm) * N * 0.003 * 100 \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde:

C.O. (%) = porcentaje del carbono orgánico total

Vb = volumen (mL) de solución ferrosa gastado en el blanco

Vm = volumen (mL) de solución ferrosa gastado en la muestra

N = normalidad de solución ferrosa (0.5)

0.003 = Factor que representa el peso de 1 equivalente de Carbono en g por el 100% entre la eficiencia del 75%

5.2.2.6 Materia Orgánica (MO)

Para el cálculo de materia orgánica una vez ya obtenido el valor de COT se procedió a utilizar la ecuación 6 (SEMARNAT, 2002)

$$\text{M. O.}(\%) = \text{C. O.}(\%) \times 1.74 \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde:

M.O. (%) = porcentaje de materia orgánica

C.O. (%) = porcentaje del carbono orgánico total

1.74 = Factor donde se considera la abundancia promedio de C en materia orgánica que es 58%, por lo que, el factor de conversión para expresar el % C es 100/58.

5.2.2.7 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico del suelo se determinó empleando el método de saturación con acetato de amonio 1N y pH 7, establecido por la NTC 5268, la cual se basa en que los iones intercambiables se reemplazan por el ion amonio, por medio del cual se cuantifica la CIC.

Se pesaron 5 g de suelo secado a 105°C y tamizado a 2 mm, se llevaron a un matraz erlenmeyer de 250 ml, al cual se le agregaron 30 ml de acetato de amonio y se agitaron durante 30 min. Luego se filtró al vacío empleando lavados de 10 porciones de 5 ml de etanol al 96% (v/v) y se descartó el filtrado, posteriormente se agregaron al embudo buchner 5 porciones de 10 ml de cloruro de sodio al 10% (p/v) y se procedió a filtrar al vacío. El filtrado se dispuso en un matraz erlenmeyer de 250 ml, se agregó 20 ml de formaldehído y se valoró con hidróxido de sodio al 0.2 N en presencia de fenolftaleína como indicador. La CIC en el suelo se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CIC (meq/100 g) = \frac{V \times N \times (100 + PW)}{p} \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

V= volumen de la solución titulante (NaOH) (mL)

N= normalidad del titulante (NaOH) (0.2N)

PW= porcentaje de humedad del suelo

p= masa del suelo

5.3 Análisis estadístico

Con el programa estadístico StatGraphic se realizó una prueba de Shapiro Wilks (modificada) para determinar si los datos presentaban distribución normal. Teniendo en cuenta que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, se realizó la prueba Kruskal Wallis, prueba no paramétrica equivalente al análisis de varianza (ANOVA). Las comparaciones (de los rangos) se realizaron de a pares con un $p < 0.05$ por temporada.

Para conocer el grado de asociación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo, se realizó la correlación de Spearman.

A partir del muestreo por conglomerado se definieron los grupos con características similares para generar un dendograma. Las agrupaciones iniciales se formaron con las variables de grupos separados, luego se combinaron las dos variables que fueron más cercanas para formar un nuevo grupo, posteriormente se combinaron los dos grupos más cercanos y esto se repitió hasta que finalmente quedara un solo grupo.

Adicionalmente, se verificó a través del ACP la asociación existente entre los parámetros fisicoquímicos de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

6. Análisis y discusión de resultados

En la zona de estudio se observaron diferentes usos del suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Uso actual del suelo de las zonas estudiadas.

Época de muestreo	Zona de estudio	Punto	Uso actual del suelo
SEQUÍA	Z1	1	Vivero, árboles de neem (<i>A. indica</i>) y cubierta vegetal
		2	Zona en descanso con cubierta vegetal
	Z2	3	Zona en descanso con cubierta vegetal
		4	Zona en descanso con cubierta vegetal
	Z3	5	Cultivo de plátano, yuca y frijol con cobertura vegetal
		6	Cultivo de maíz
		7	Cultivos de yuca y plátano con cobertura vegetal
		8	Área en preparación para cultivos
	Z4	9	Cultivos de plátano con cubierta vegetal
		10	Árboles de guayaba dispersos
LLUVIA	Z1	1	Cultivo de arroz
		2	Cultivo de plátano
	Z2	3	Zona en descanso con cubierta vegetal
		4	Zona en descanso con cubierta vegetal
	Z3	5	Cultivo de arroz
		6	Cultivo de maíz
		7	Zona en descanso
		8	Potrero
		9	Zona en descanso
	Z4	10	Cultivo de arroz
		11	Cultivo de maíz, patilla y ahuyama
		12	Potrero

Actualmente, el Distrito de Riego de Repelón cuenta con la combinación de cultivos semipermanentes (maíz, guayaba, patilla, arroz, ahuyama y yuca) y permanentes (plátano), siendo estos un tipo de agricultura adaptados a las condiciones ambientales de la región.

6.1 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos del suelo

Entre las propiedades del suelo, se encuentran algunas características que son esenciales para determinar la fertilidad, ya que influyen en la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes. Por tal razón, se definieron: textura, humedad, salinidad y color del suelo como los principales parámetros influyentes en la determinación de la calidad del suelo. La textura debido a que permite definir el tamaño de las partículas del suelo, por ende, el grado de asimilación de los nutrientes; la humedad ya que esta ayuda a solubilizar ciertos nutrientes que son necesarios para el desarrollo agrícola y la salinidad determina el grado de sales presentes en el suelo, lo cual puede contribuir al aumento de la toxicidad del suelo, disminuyendo así su capacidad productiva, finalmente, el color del suelo debido a que es un indicador visual fácilmente medible que permite juzgar de forma rápida diferentes características del suelo.

6.2.1 Textura.

La textura en el suelo se caracterizó por tener alto contenido de arcilla (**Tabla 2**). En la temporada de sequía, específicamente en las zonas 2 y 4, se presentaron suelos con mayor contenido de arcilla, 46.2 y 55.1%, respectivamente. En la temporada de lluvia, la zona 4 igualmente presentó el suelo con mayor contenido de arcilla (59.1%), seguido por la zona 3 con 38.8%.

Según los porcentajes de arena, limo y arcilla que constituyen el suelo, en todas las zonas la arcilla es el componente principal, lo que indica que el medio edáfico presenta condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos, ya que en suelos con presencia de arcilla se facilita la disponibilidad

e intercambio de nutrientes que permite el crecimiento de las plantas. Aunque la arcilla brinda amplios beneficios a los cultivos puede convertirse en una dificultad al momento de llevar a cabo una actividad agrícola, ya que estos suelos poseen poca permeabilidad y son fácilmente encharcables, al mismo tiempo que retienen más humedad (Ricón Suárez, 2010).

Por el contrario, en la temporada de lluvia específicamente en las zonas 1- 2, se presentó un porcentaje de arena mayor, lo cual puede estar asociado a que se produjo una pérdida de la fracción fina a causa de las escorrentías superficiales de agua lluvia que durante esta temporada pudieron haberse presentado en mayor proporción en estas zonas. Según la literatura encontrada, las altas precipitaciones generan pérdidas para la agricultura debido a que, si se presenta escorrentía, esta arrastra con ella partículas del suelo y materia orgánica (FUNDESYRAM, 2014).

Adicionalmente, el municipio de Repelón está rodeado por la serranía del Caballo ubicada al Occidente donde se puede apreciar la mayor altura del departamento del Atlántico con 523 msnm en cerro Alto; al oriente en la zona del embalse del Guájaro se encuentra una depresión geográfica con una profundidad de 3 por debajo del nivel del mar y en la plaza central la altura es de 9 msnm (Alcaldía de Repelón, 2012). Esto indica que el relieve del municipio de Repelón, es muy variable, y por ende los procesos erosivos también varían en su territorio, a lo que puede deberse también las variaciones en las fracciones de suelo en algunas de las zonas estudiadas.

Tabla 2. Textura de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

Zona de estudio	Fracción del suelo	Época de muestreo			
		Sequía		Lluvia	
		Textura			
Z1	Arena %	14.3		31.3	
	Limo %	45.8	F Ar L	38.4	F Ar
	Arcilla %	39.9		30.3	
Z2	Arena %	14		31.3	
	Limo %	39.8	Ar	38.2	F Ar
	Arcilla %	46.2		30.5	
Z3	Arena %	9.6		26	
	Limo %	44.3	Ar L	35.2	F Ar
	Arcilla %	46.1		38.8	
Z4	Arena %	6.5		3.1	
	Limo %	38.4	Ar	37.8	Ar
	Arcilla %	55.1		59.1	

Clases texturales: *Ar:* Arcilloso; *FAr:* Franco-Arcilloso; *FArL:* Franco Arcillo-Limoso; *ArL:* Arcillo-Limoso.

6.2.2 Humedad

En la temporada de sequía se obtuvo una disminución en los porcentajes de humedad específicamente en las zonas 1, 3 y 4 (19.07% en promedio) y un aumento en la zona 2 (20.33% en promedio) (**Tabla 3**). Mientras que, en la temporada de lluvia, las zonas 1, 3 y 4 se caracterizaron por presentar porcentajes de humedad altos (24.08% en promedio) a diferencia de la zona 2 donde se presentó un valor menor (17.67% en promedio).

Tabla 3. Humedad de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

Zona de estudio	Época de muestreo	
	Sequía	Lluvia
	Humedad (%)	
Z1	16.70	25.00
Z2	20.33	17.67
Z3	17.68	20.54
Z4	22.83	26.70

Este comportamiento para el caso de la humedad, pudo estar relacionado con la presencia de la cobertura vegetal en el suelo ya que esta produce una capa protectora que impide la penetración de la luz solar, retardando el proceso de evaporación y conservando la humedad del suelo.

Contradictoriamente, en la temporada de lluvia en la zona 2 se presentó una disminución en el contenido de humedad del suelo, esto posiblemente porque hubo mayor escorrentía del agua lluvia por falta de infiltración, ocasionando una pérdida de agua en el medio edáfico, además algunas áreas correspondientes a la zona 2, se encontraban en descanso, es decir no tenían cultivos, por lo tanto, el suelo estaba un poco más expuesto al sol, lo cual puede ocasionar una pérdida de agua a causa de la evaporación (Shaxson & Barber, 2005).

6.2.3 Salinidad (ppm de sales)

En promedio las zonas 1 y 2 obtuvo mayor salinidad (0.827 ppm de sales) a diferencia de la zona 3 y 4 en donde se presentaron valores más bajos (0.18 ppm de sales en promedio) (**Tabla 4**).

Tabla 4. Conductividad y contenido de salinidad en los suelos del Distrito de Riego de Repelón.

Zona de estudio	Época de muestreo			
	Sequía	Lluvia	Sequía	Lluvia
	Salinidad (ppm de sales)		Conductividad (dS/m)	
Z1	0.46	1.46	0.72	2.29
Z2	0.14	1.24	0.21	1.95
Z3	0.26	0.14	0.41	0.22
Z4	0.19	0.13	0.29	0.20

Según Castellanos (2016), conocer la salinidad del suelo es fundamental para tomar decisiones acerca del manejo del suelo, del tipo de cultivo a plantar, para establecer las láminas de riego, requerimientos de lavado, el manejo del agua en sistemas de riego, etc. y clasifica los suelos de acuerdo a su salinidad, y el efecto de esta en los cultivos, a partir de la conductividad eléctrica, afirmando que una conductividad eléctrica (dS/m) menor a 1, los suelos se encuentran libres de sales y no existe ninguna restricción para ningún cultivo; entre 1-2, los suelos se consideran bajos en sales, y puede verse restringido el rendimiento de algunos cultivos muy sensibles; entre 2-4, el suelo se considera moderadamente salino y aquí el rendimiento de los cultivos sensibles pueden verse afectados en una mayor proporción; entre 4-8, el suelo se considera salino, en esta condición el rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad; entre 8-16, el suelo se considera altamente salino, y solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos; mayor a 16, el suelo es extremadamente salino, en estas condiciones ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la salinidad es un parámetro determinado con base en la conductividad, esta se categoriza en tres grupos de acuerdo al grado de CE (de menor a mayor valor se encuentran los suelos salinos $CE > 4$, sódicos $CE < 4$ y salinos-sódicos $CE > 4$), según la clasificación establecida por Otero et al. (2007).











Teniendo en cuenta estos aspectos, en general los suelos del Distrito de Riego de Repelón se pueden caracterizar como suelos salinos ya cuentan con una salinidad baja (0.090 dS/m) debido a que los valores obtenidos son inferiores a la conductividad eléctrica de los suelos de Repelón reportados por IGAC (2007) la cual es de 0.5 dS/m. Con excepción de un punto en la zona norte donde la salinidad fue un poco más alta en comparación con los otros puntos, esto pudo deberse a fuentes adicionales de electrolitos, generados posiblemente por el uso de fertilizantes y la calidad del agua de riego de la zona (Otero et al., 2007).

6.2.4 Color

Para la temporada de sequía, se obtuvo que todas las zonas poseen colores de tono 2.5Y, pero con variaciones de brillos e intensidades (**Tabla 5**). El color que más se presentó en los suelos de las zonas 1 y 2 el color 2.5Y light olive brown 5/3 (Marrón oliva claro), y en las zonas 3 y 4, fue el 2.5Y dark grayish brown 4/2 (Gris oscuro marrón). En general, para las zonas 1 y 2 fueron más claros a diferencia de las zonas 3 y 4 donde se presentaron suelos con colores más oscuros. El color predominante en las zonas 1 y 2, es indicador de suelos arcillosos; con pocos elementos gruesos, tamaño grava, muy rodados; estructura moderada en bloques subangulares, gruesa; friable (fácil de desmenuzarse) en húmedo y blando en seco; frecuentes poros, continuos, desordenados; abundantes raíces finas a muy finas y escasas raíces gruesas y medianas; presencia de carbonatos; límite brusco ondulado (Ruz, 1991).

El color predominante en las zonas 3 y 4, es indicador de suelo arcilloso; pocos elementos gruesos, tamaño grava, esencialmente cuarcita, muy rodados, estructura moderada en bloques angulares, mediana, ligeramente adherente y plástico en mojado, muy friable, en húmedo, frecuentes poros finos a finos, muchas raíces muy finas; presencia de carbonatos, límite brusco y plano (Ruz, 1991).

Tabla 5. Color presente en el suelo en la temporada de sequía.











COLOR EN SUELO SECO			
ZONA	MUESTRA	COLOR	MUNSELL
Z1	P1 - Z1 - INF	2.5 Y light yellowish brown 6/4	
	P1 - Z1 - SUP	2.5 Y light olive brown 5/3	
Z2	P1 - Z2 - INF	2.5 Y light olive brown 5/3	
	P1 - Z2 - SUP	2.5 Y light olive brown 5/4	
Z3	P1 - Z3 - INF	2.5 Y dark grayish brown 4/2	
	P1 - Z3 - SUP	2.5 Y olive brown 4/3	
	P2 - Z3 - INF	2.5 Y dark grayish brown 4/2	
	P2 - Z3 - SUP	10 YR dark yellowish brown 4/2	
Z4	P1 - Z4 - INF	2.5 Y dark grayish brown 4/2	
	P1 - Z4 - SUP	2.5 Y dark grayish brown 4/4	

En la temporada de lluvia, se obtuvo que la tonalidad 2.5Y fue la de mayor predominancia en las diferentes zonas del Distrito de Riego de Repelón (**Tabla 6**). En todas las zonas prevalecieron dos colores específicamente, el color 2.5Y light olive brown 5/3 (Marrón oliva claro), en las zonas 1 y 3 respectivamente, y el color 2.5Y light olive brown 5/4 (Marrón oliva claro), en la zona 2, en la zona 4 se presentaron tres diferentes tipos de colores no hubo predominancia de uno en específico, pero hubo presencia del color que mayor se presentó en la zona 2.

Los colores predominantes en todas las zonas son indicadores de suelos arcillosos; con pocos elementos gruesos, tamaño grava, muy rodados; estructura moderada en bloques subangulares, gruesa; friable en húmedo, y blando en seco; frecuentes poros finos, continuos, desordenados;

abundantes raíces finas y muy finas y escasas raíces gruesas y medianas; presencia de carbonatos; y límite brusco ondulado (Ruz, 1991).

Tabla 6. Color presente en el suelo en la temporada de lluvia.

COLOR EN SUELO SECO			
ZONA	MUESTRA	COLOR	MUNSELL
Z1	P2-Z1-INF	2.5 Y light olive brown 5/3	
Z2	P2-Z2-SUP	2,5Y light olive brow 5/4	
	P2-Z2-INF	2,5Y light olive brow 5/4	
	P3-Z2-SUP	2,5Y light olive brow 5/4	
Z3	P3-Z3-SUP	2.5 Y light olive brown 5/3	
	P4-Z3-SUP	2,5Y light olive brow 5/4	
	P5-Z3-SUP	2.5Y light olive brown 5/3	
Z3	P3-Z3-INF	2,5 Y grayish brown 5/2	
	P4-Z3-INF	2.5 Y light olive brown 5/3	
Z4	P2-Z4-SUP	2,5 Y grayish brown 5/2	
	P2-Z4-INF	2,5Y Dark grayish brown 4/2	
	P3-Z4-INF	2,5Y light olive brow 5/4	

6.2 Descripción de la fertilidad en el suelo

La fertilidad es considerada como la forma indirecta de determinar la capacidad de producción de los suelos y la manera más utilizada para medirla ha sido a través de la caracterización fisicoquímica (Siavosh et al., 1998). Su conservación se ha basado en el balance de nutrientes que condicionan su calidad, los cuales pueden ser utilizados como indicadores para reflejar el nivel de

fertilidad, dentro de los cuales se encuentran principalmente el pH, MO, N, CIC y P (Navarrete et al., 2011).

La calidad del suelo está directamente relacionada con la fertilidad, la cual se ve limitada por la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Abi-Saab Arrieche, 2012). El manejo de la fertilidad del suelo representa el componente principal para la nutrición de las plantas, brindando así un efecto sobre su crecimiento y rendimiento (Pérez López, 2013).

6.2.1 Acidez del Suelo (pH)

Las zonas 1, 2 y 3 se caracterizaron por presentar un pH neutro (7.14) independiente de la temporada, a diferencia de la zona 4 donde se obtuvo un pH ligeramente ácido de 6.43 para la temporada de sequía y pH neutro para la temporada de lluvia (6.79) (**Tabla 7**). Teniendo en cuenta los rangos establecidos por el IGAC (2007), donde se considera que el pH comprendido entre los valores de 6.1 – 6.5 corresponde a un suelo ligeramente ácido y los valores comprendidos entre 6.6 – 7.5 corresponde a un suelo neutro (Anexo 1).

La variabilidad en el pH de los suelos de las diferentes zonas estudiadas se relaciona con diversos factores, entre los cuales se destaca la actividad agrícola en procesos de fertilización a través de humus que contengan grupos funcionales (carboxílicos, fenólicos, etc.) y manejo de plagas utilizando sustancias químicas las cuales están formadas por ciertos componentes que hacen variar el pH del suelo (Sadeghian & Adriana, 2014).

Tabla 7. Valores de pH de los suelos del distrito de riego de Repelón.

Zona de estudio	Época de muestreo	
	Sequía	Lluvia
	pH	
Z1	7.03	7.54
Z2	7.10	7.14
Z3	7.05	6.95
Z4	6.43	6.79

Ibáñez (2007a), considera que el rango óptimo de pH sobre el que crecen la mayor parte de las plantas cultivadas oscila entre 6.0 a 7.0, es decir suelos moderadamente ácidos a neutros, incluso con un pH natural de 8 pueden obtenerse buenos rendimientos agrícolas, ya que en este estado se encuentran la mayor parte de las sustancias nutritivas para las plantas, presentes en la solución del suelo. Esta consideración es acorde a los resultados obtenidos en el área estudiada del Distrito de Riego de Repelón, ya que las zonas analizadas permitieron evidenciar la presencia de cultivos que se encuentran en buenas condiciones.

A pesar que el suelo del distrito se encuentra en condiciones óptimas para el desarrollo de cultivos, la zona 4 se caracterizó por presentar pH menor, a diferencia de las zonas 1-3, esto pudo deberse a la preparación que se le dio al suelo para el desarrollo de los cultivos, ya que en ocasiones se adicionan abonos, fertilizantes o sustancias químicas para el manejo de plagas que ocasionan una acidificación del suelo. Adicionalmente, se pudo observar que en esta zona los cultivos encontrados fueron de plátano y guayaba, lo que pudo ser una de las razones por las cuales se preparó el suelo en estas condiciones debido a que tienen un mejor rendimiento en suelos ácidos (el pH óptimo para el desarrollo de estos oscila entre 5.0 y 7.0) (Guerrero, 2010; IIFT 2011).

El pH en la fertilidad es un parámetro que emite información relevante, ya que este modifica el grado de solubilidad de los minerales, es decir a un pH bajo los minerales como el Al y Mn, presentan mayor solubilidad, permitiendo la absorción por las raíces de las plantas, provocando a su vez una toxicidad a ciertas concentraciones, por el contrario, determinadas sales minerales esenciales para el desarrollo de las plantas (fosfato de calcio), son menos solubles a pH altos, lo que genera que estos sean menos disponibles, disminuyendo la posibilidad a ser absorbidos y nutrir la planta (Ibáñez, 2007a).

Asimismo, se ha demostrado que la acidez del suelo está relacionada con la presencia de hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) (Oliva, 2009), por tal razón se evaluó la acidez del suelo a través de la determinación del aluminio intercambiable. Sin embargo, no fue posible el reporte de los datos, debido a que los resultados no fueron cuantificables ya que los suelos en su mayoría se encuentran en estado neutro. Esto indica que no hay presencia de aluminio intercambiable en los suelos del Distrito de Riego de Repelón.

6.2.2 Materia Orgánica del suelo (MO)

Los porcentajes obtenidos de MO en el suelo para la temporada de sequía fueron mayores en comparación con la época de lluvia (**Tabla 8**). Específicamente, en la zona 3 el valor mayor fue 6.16%, seguido por la zona 2 (5.74 %), y el porcentaje menor (4.38%) se presentó en la zona 4. En la temporada de lluvia se presentó una disminución del 30% de contenido de MO en el suelo; donde el mayor valor se presentó en la zona 4 (4.71%) y el menor porcentaje en la zona 2 (2.88%).

Tabla 8. Materia orgánica del suelo en la zona de estudio.

Zona de estudio	Época de muestreo	
	Sequía	Lluvia
	MO (%)	
Z1	4.55	2.88
Z2	5.74	3.12
Z3	6.16	4.57
Z4	4.38	4.71

Debido a que en las zonas 1, 2 y 3 correspondiente a la temporada de sequía, hay mayor contenido de cobertura vegetal nativa, se facilita la acumulación de residuos orgánicos que finalmente son transformados en MO reduciendo la posible variación de los resultados. Por el contrario, en la zona 4 se registra actividad agrícola más intensa y presenta bajo contenido de MO, ya que el suelo es perturbado por laboreo dejando en el suelo menores contenidos de este componente (Corbella & Fernández, 2010).

En la temporada de lluvia, se pudo observar que hay mayor actividad agrícola, lo cual genera niveles mucho más bajos de MO, debido a que la labranza airea el suelo y desmenuza los residuos orgánicos, dejándolos más accesibles a la descomposición microbiana (Corbella & Fernández, 2010). Adicionalmente, las intensas precipitaciones aceleran el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, provocando un bajo rendimiento de MO en las zonas (Rosas-Callejas et al., 2016).

Generalmente, la literatura agronómica reporta que las zonas tropicales cálidas y húmedas, presentan contenidos de MO deficientes o bajos, debido al poco contenido y la gran transformación de los residuos orgánicos (Guerrero, 2009). Sin embargo, el ICA ha seleccionado los niveles de MO para la determinación de fertilidad en las zonas cálidas de Colombia incluyendo la Costa

Atlántica, definiendo que los porcentajes de materia orgánica menores de 2, son considerados niveles bajo; porcentajes de 2 a 4, medio y mayores de 4, alto. Estos valores permiten estimar que los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón, presentan contenidos de MO que varían de medio a alto, debido a que en esta región, la mayor parte de los terrenos tienen presencia de cobertura vegetal nativa que aportan residuos orgánicos significativos al suelo, lo cual facilita el desarrollo agrícola en los suelos.

6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100 g)

La capacidad de intercambio catiónico en los suelos presentó mayor contenido en la zona 4 (**Tabla 9**), específicamente en la temporada de lluvia el valor mayor fue de 67.50 meq/100 g, seguido de la temporada de sequía con 62.88 meq/100g. El valor más bajo tuvo lugar en la zona 1 (33.50 meq/100 g) en la época de lluvia respectivamente y 39.68 meq/100g en la temporada de sequía.

Tabla 9. Capacidad de intercambio catiónico de los suelos.

Zona de estudio	Época de muestreo	
	Sequía	Lluvia
	CIC (meq/100 g)	
Z1	39.68	33.50
Z2	40.79	34.13
Z3	49.84	51.69
Z4	62.88	67.50

La zona 4 presentó mayor capacidad de intercambio catiónico lo cual es de esperarse debido a que esta zona presenta textura arcillosa. Las arcillas al igual que la MO, favorecen la capacidad de intercambio catiónico, porque estas tienen la una mayor capacidad para retener cationes debido a su carga negativa, a diferencia de la capacidad que tiene la solución de suelo para retenerlos, por

lo que la CIC, está asociada a la cantidad de arcilla presentes en el suelo, cuan mayor sea el contenido así mismo será la CIC (Castellanos, 2016).

Adicionalmente, la acidez del suelo también influye en la variación de la CIC, ya que suelos con menor pH retienen altas concentraciones de especies catiónicas intercambiables (Piedrahita, 2011), coincidiendo con los resultados de la temporada de sequía, donde la zona 4 presenta mayor contenido de CIC y menor valor de pH, así mismo ocurre en la temporada de lluvia en las zonas 3 y 4. Por el contrario, en la zona 1 se presentaron concentraciones más bajas de CIC, esto pudo deberse debido al incremento de los valores de pH y a la disminución del contenido de arcilla en los suelos de dicha zona.

Se puede afirmar que los valores presentados en los suelos del Distrito de Riego de Repelón se ajustan a la valoración realizada por el IGAC (2007), la cual determina que los contenidos de CIC en el departamento del Atlántico varían de altos a muy altos (29.1 – 40.1 meq/100 g), lo cual permite un buen potencial nutricional en el suelo. Sin embargo, cabe resaltar que los suelos con contenidos de CIC excesivamente altos pueden conducir a la retención de cationes peligrosos provenientes de plaguicidas, metales pesados, etc. que pueden afectar los cultivos y el suelo (Garrido, 1993).

6.2.4 Nitrógeno (N)

Los contenidos de N en el suelo se caracterizaron por presentar porcentajes mayores en la época de sequía a comparación con la época de lluvia (**Tabla 10**). Principalmente en la temporada de sequía en la zona 3 se presentó el mayor porcentaje (0.203 %), seguido de las zonas 2 y 4 las cuales exhibieron el mismo valor (0.189 %) y el porcentaje menor se evidenció en la zona 1 (0.112%) el cual se mantuvo igual en la temporada de lluvia. Adicionalmente, para la misma temporada se

obtuvieron porcentajes de N bajos, siendo el porcentaje menor el de la zona 2 (0.084%) y el mayor valor en la zona 4 (0.154 %).

Tabla 10. Contenido de nitrógeno en los suelos del distrito de riego de Repelón.

Zona de estudio	Época de muestreo	
	Sequía	Lluvia
	N (%)	
Z1	0.112	0.112
Z2	0.189	0.084
Z3	0.203	0.132
Z4	0.189	0.154

Los porcentajes con mayor contenido de N en la época de sequía posiblemente se asocian a la interacción específica entre el suelo y los microorganismos, ya que estos tienen un alto impacto en el funcionamiento de la producción agrícola. Por lo tanto, los microorganismos mediante el proceso de fijación biológica de N, transforman el nitrógeno atmosférico (N_2) en amonio (NH_4) y nitratos (NO_3) para que el nitrógeno pueda ser asimilable por las plantas e incrementen los niveles de fertilidad en el suelo (Cerón & Aristizábal, 2012).

Por el contrario, la disminución de N en la temporada de lluvia en las zonas 2, 3 y 4, pudo deberse a procesos de lavados producto de las precipitaciones presentadas en la zona, ya que el ion nitrato, por su carga no suele adherirse a las partículas de arcillas y con frecuencia el agua lo lava o lixivia del suelo (Costa & Ocete, 2009). Adicionalmente, el N normalmente se encuentra en los horizontes superiores del suelo y como consecuencia es drenado fácilmente debido a cualquier perturbación en el mismo (Costa & Ocete, 2009).

Naturalmente los suelos del distrito de riego de Repelón presentan contenidos de N alto. Teniendo en cuenta los criterios reportados por Moreno (1978) para evaluar el contenido de nitrógeno en el suelo. Este autor indica que los valores obtenidos de los porcentajes de nitrógeno en las zonas varían de medianamente pobre (0.064% - 0.095%) a rico (0.159% - 0.221%), lo cual permite que se desarrollen los cultivos en condiciones óptimas.

6.2.5 Fósforo disponible (mg kg^{-1})

Los resultados obtenidos en el análisis de P disponible en las muestras de suelo (**Tabla 11**), en la temporada de sequía exhiben valores que variaron entre 94.46 y 109.87 mg kg^{-1} , siendo estos correspondientes a las zonas 1 y 4, respectivamente. Mientras que, en la temporada de lluvia se presentaron valores desde 70.35 hasta 112.83 mg kg^{-1} , correspondiente a las zonas 2 y 4 respectivamente.

Tabla 11. Contenido de fósforo en los suelos del distrito de riego de Repelón.

Zona de estudio	Época de muestreo	
	Sequía	Lluvia
	P (mg kg^{-1})	
Z1	94.46	90.60
Z2	100.29	70.35
Z3	100.29	81.35
Z4	109.87	112.83

Los contenidos de P disponible en los suelos evaluados presentaron concentraciones muy elevadas, lo cual puede atribuirse al grado de acidez del suelo. El rango de pH para un buen desarrollo de P

oscila entre 6.5 y 7.5, debido a que en este rango ocurre la máxima solubilidad de las formas de P en el suelo (Rojas, 2015). La humedad y la MO son otros factores que influyen en el incremento de la disponibilidad del fósforo, debido a que el incremento del contenido de agua en el suelo conduce al aumento del ion fosfato en solución, esto normalmente ocurre luego de periodos de lluvia o agregación excesiva de agua al suelo. Por otra parte la materia orgánica se encuentra cargada negativamente, lo cual produce combinaciones complejas que inmovilizan algunos iones hidroxilados, dejando libres iones fosfatos que aumentan la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Rojas, 2015).

Las concentraciones de P disponible en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón, son excesivamente altos. Según el dato reportado por el IGAC (2007), la concentración del P disponible en los suelos es 41.4 ppm. En esta investigación la alta disponibilidad de fósforo puede estar dada, ya que al paso del tiempo, el uso del suelo en la zona ha variado debido a factores naturales y antropogénicos, lo cual ha ocasionado que el suelo mejore su capacidad productiva, debido al estado en reposo en los que muchos de los terrenos se encuentran, generando así un aumento del fósforo en el suelo. Esto favorece el desarrollo de los cultivos, teniendo en cuenta que este nutriente es indispensable para el crecimiento de estos.

6.2.6 Fertilidad actual de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón

Teniendo en cuenta que la fertilidad está asociada a la calidad del suelo, se puede evidenciar a través de los parámetros evaluados en las distintas zonas del Distrito de Riego de Repelón, que estos presentan una calidad alta.

Gran parte de esta calidad es debida a que muchos predios de las zonas analizadas cuentan con suelos en estado de reposo, lo cual conduce a una regeneración del suelo, fortaleciendo así sus capacidades productivas. Así mismo, los suelos cultivados presentan buena fertilidad evidenciado a través de sus propiedades fisicoquímicas, es probable que las prácticas agrícolas no presenten un grado de afectación considerable al suelo. En general los suelos de este distrito permiten que se dé el establecimiento de cultivos sin ningún tipo de restricciones, es decir que cuenta con un buen potencial natural para el desarrollo de la actividad agrícola en las zonas, facilitando su manejo y reduciendo el uso de fertilizantes que puedan alterar y degradar sus características productivas. Además, se requieren de prácticas moderadas de conservación de suelos, fertilización orgánica y riego suplementario, con el fin de evitar el sobrepastoreo y favoreciendo la regeneración de la vegetación natural.

6.3 Análisis estadístico y variabilidad de los parámetros fisicoquímicos

Para determinar si propiedades del suelo presentan diferencias estadísticas de acuerdo a la temporada de sequía y lluvia, se analizaron las variables fisicoquímicas a través de la prueba estadística Kruskal-Wallis (prueba no paramétrica) (**Tabla 12**).

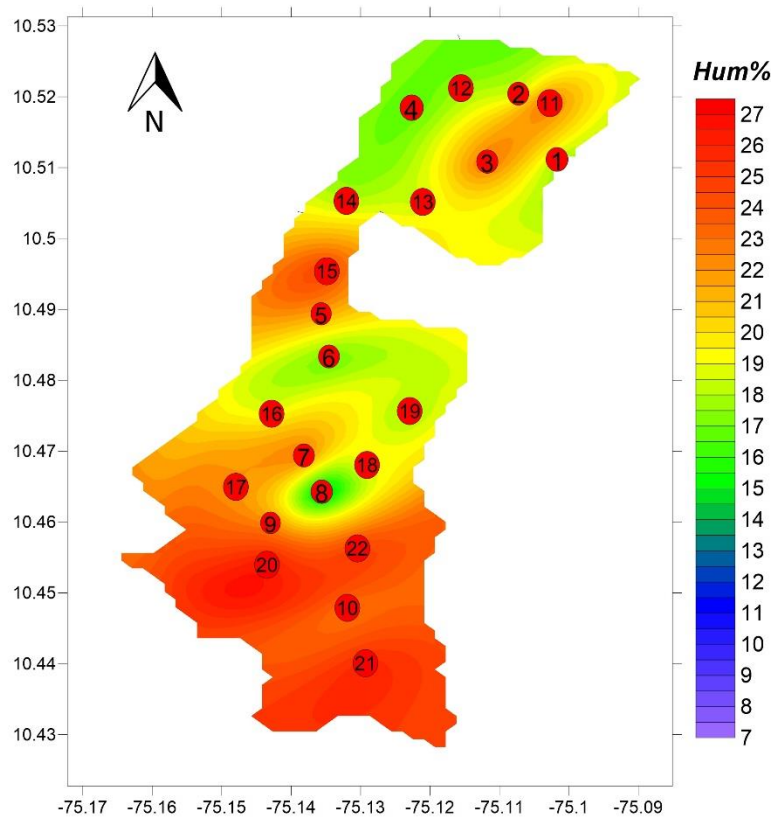
Tabla 12. Análisis estadístico Kruskal Wallis de las variables fisicoquímicas de los suelos agrícolas

Variable	Época	Media	DE(\pm)	p-valor
pH	LI	7.01	0.57	0.2072
	S	6.93	0.35	

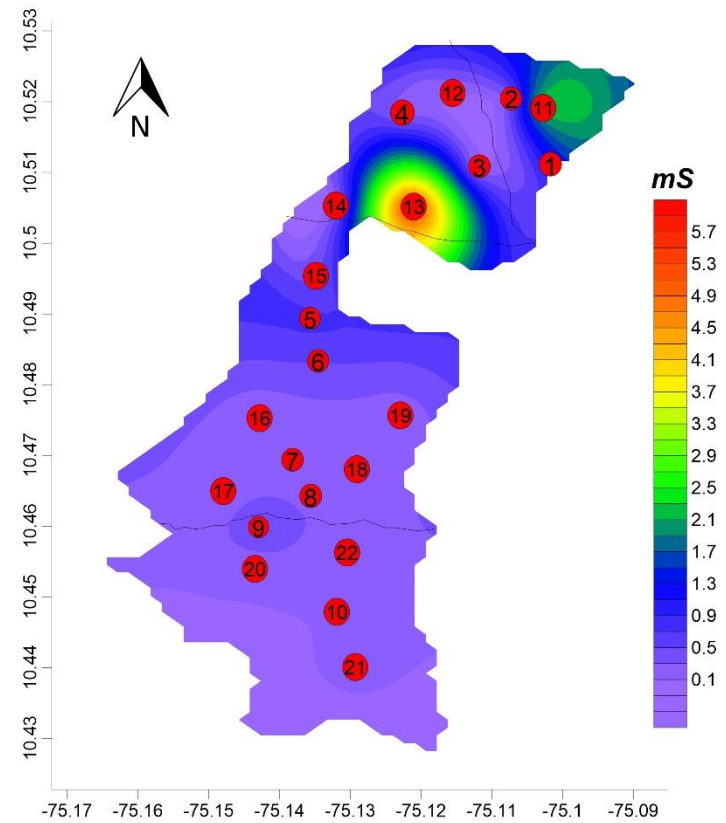
Salinidad	LI	0.52	1	0.1303
	S	0.26	0.21	
Humedad	LI	21.73	4.33	0.0979
	S	19.04	5.16	
MO	LI	4.1	1.04	0.0054*
	S	5.4	1.58	
CIC	LI	49.74	16.01	0.9062
	S	48.6	10.36	
N	LI	0.12	0.04	0.041*
	S	0.18	0.09	
P	LI	87.25	26.73	0.1198
	S	101.04	20.99	

DE: Desviación estándar, S: sequía, LI: lluvia,*Significativamente diferente $p < 0.05$

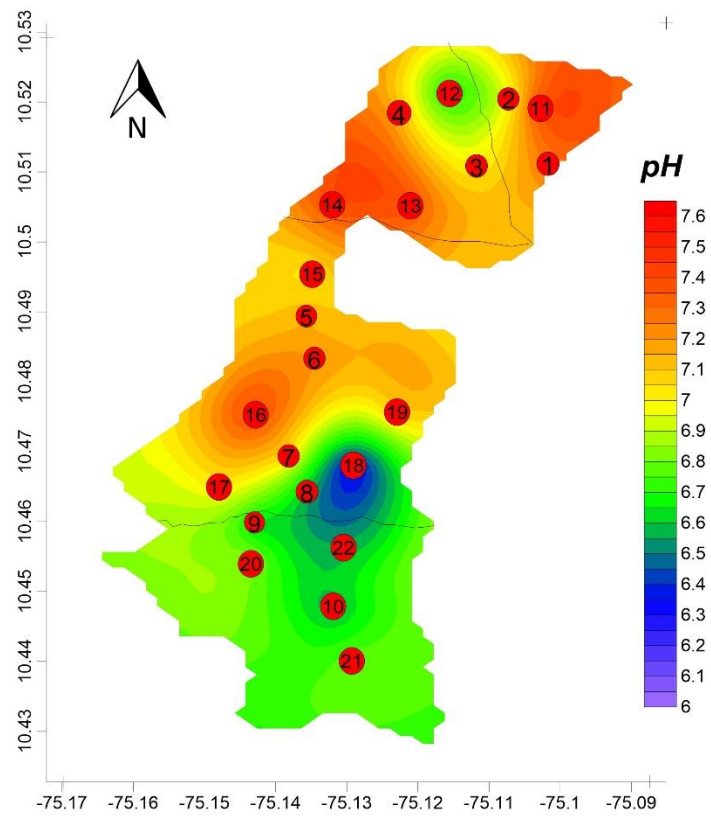
La variabilidad estacional, no afectó las propiedades fisicoquímicas de pH, salinidad, humedad, CIC y P disponible de los suelos evaluados. La Figura 2 representa el promedio de la distribución de los parámetros teniendo en cuenta que según las temporadas de lluvia y sequía, no se presentó diferencias estadísticas en el Distrito de Riego de Repelón.



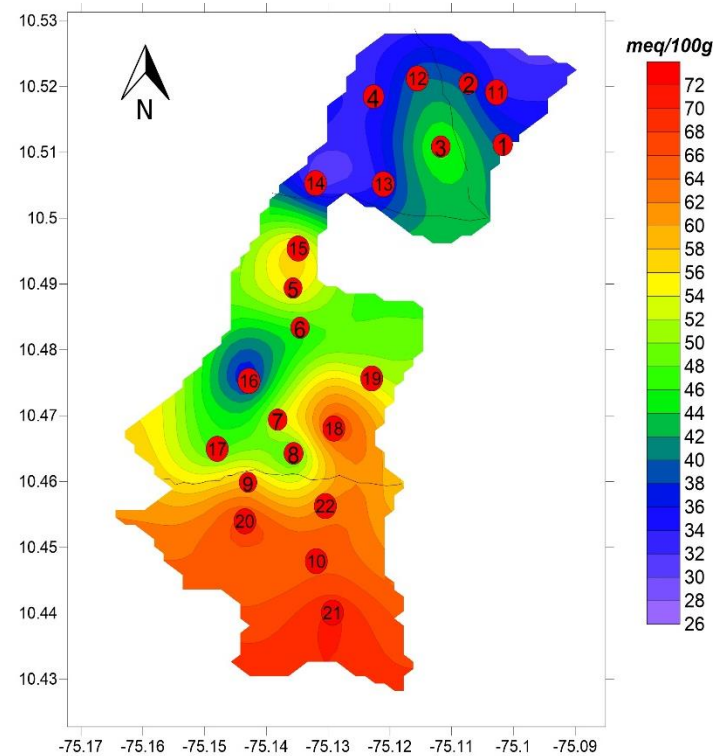
a) Humedad



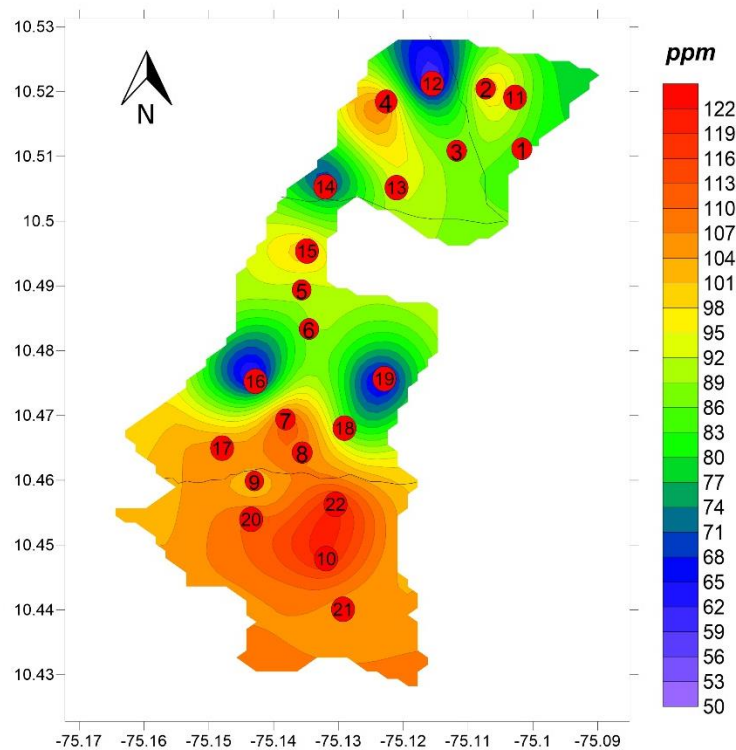
b) Salinidad



c) pH



d) CIC



d) P

Figura 2. Parámetros que no presentaron variabilidad estadística en los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

Amurrio & Poma (2015) afirman que la carencia de variabilidad estacional en la mayoría de las propiedades fisicoquímicas del suelo, puede estar dada a causa el clima semiárido presente en las zonas, con bajas precipitaciones, así como también la topografía de los terrenos, ya que estos factores pueden limitar el transporte de los elementos químicos en el medio edáfico. Esto es acorde a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas del Distrito de Riego de Repelón, ya que en las zonas evaluadas se presentan precipitaciones bajas a lo largo del año, causando poca variación en las propiedades del suelo.

Por el contrario, las propiedades químicas (MO y N), presentaron diferencias significativas de acuerdo a las épocas de lluvia y sequía (**Tabla 13**).

Tabla 13. Variables con diferencias estadísticas ($p < 0.05$) de acuerdo a la época.

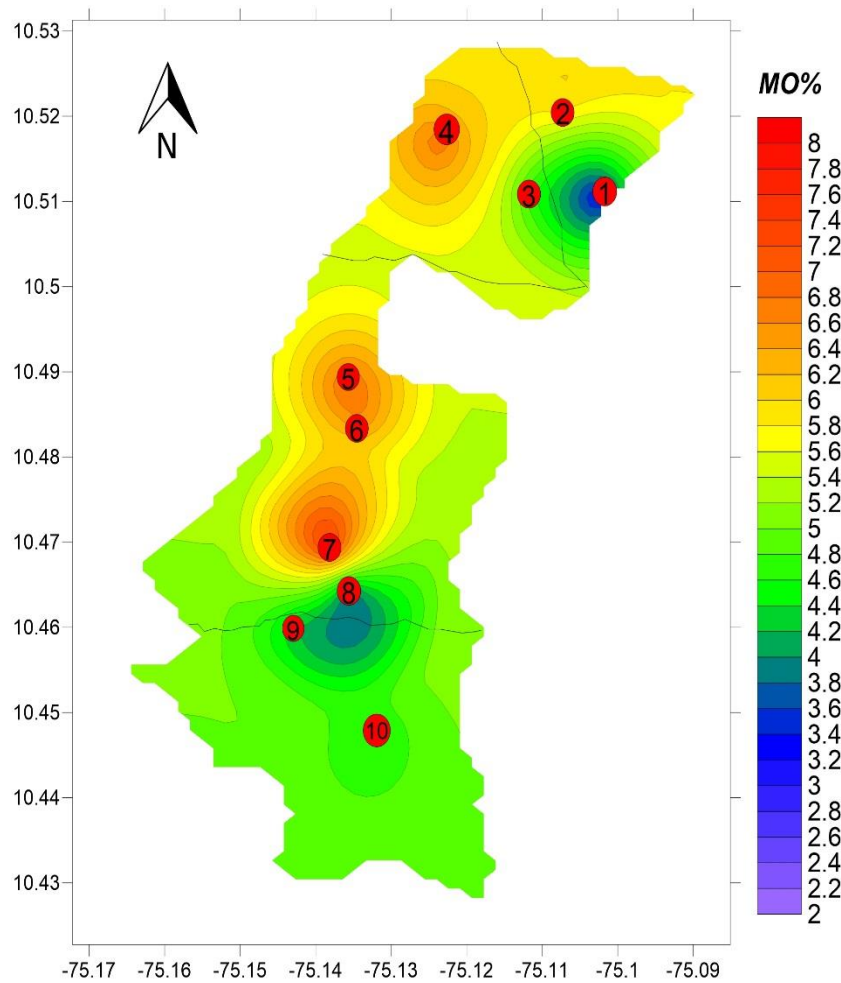
Parámetro	Época	Media	Rank
MO	Ll	4.1	17.58 A
	S	5.4	28.40 B
N	Ll	0.12	18.92 A
	S	0.18	26.80 B

S: sequía, Ll: lluvia, MO: materia orgánica, N: nitrógeno.

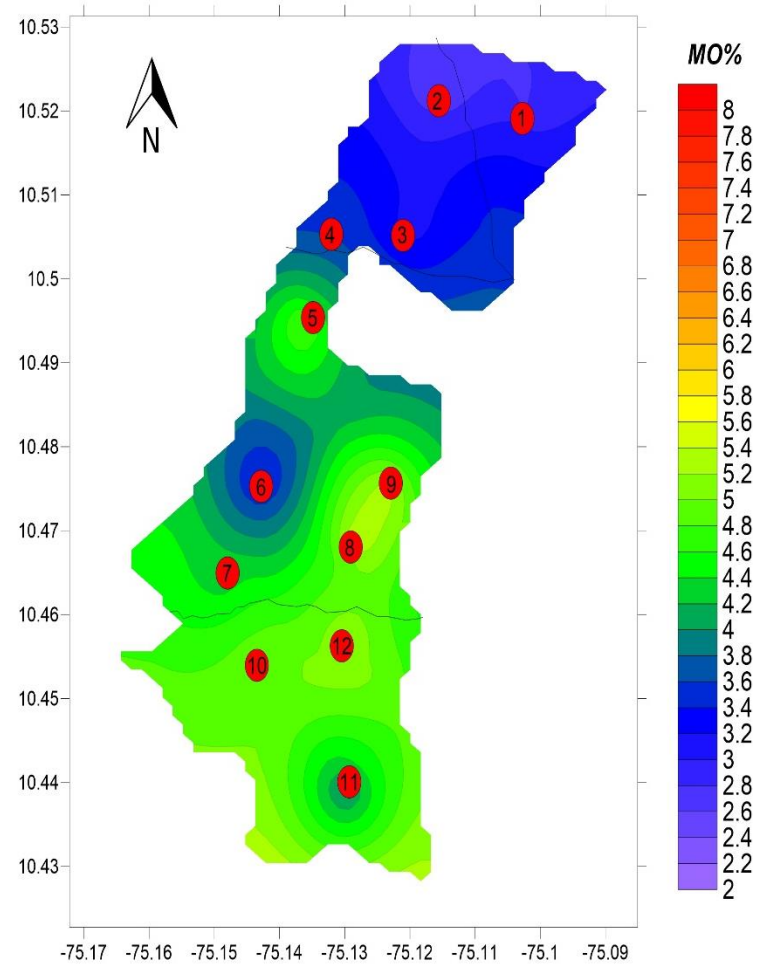
Medias con letra diferente en fila son significativas estadísticamente ($p < 0.05$)

La variabilidad encontrada en los resultados de MO pudo deberse a que el porcentaje de la MO varía significativamente respecto al contenido de humedad presente en el suelo. Al aumentar el porcentaje de agua, se estimula el proceso de degradación de compuestos húmicos o seres vivos provocando una disminución de esta misma (Rosas-Callejas et al., 2016). Así mismo el N se ve influenciado por el cambio de temporada, ya que en época de sequía los microorganismos fijadores de amonio y nitratos realizan su actividad microbiana sin ningún tipo de perturbación ocasionada por las intensas precipitaciones. Además, el N, es un componente que se encuentra estrechamente relacionado con el contenido de MO, es decir, la MO es un índice que permite estimar en forma aproximada las reservas de N en el suelo y su comportamiento en la dinámica de nutrientes (Molina, 2011). Por tal razón el N y la MO fueron los únicos parámetros que presentaron diferencias significativas respecto a las temporadas de lluvia y sequía, ya que el N, es un componente que depende del contenido de MO presente en el suelo, confirmando así su relación directa.

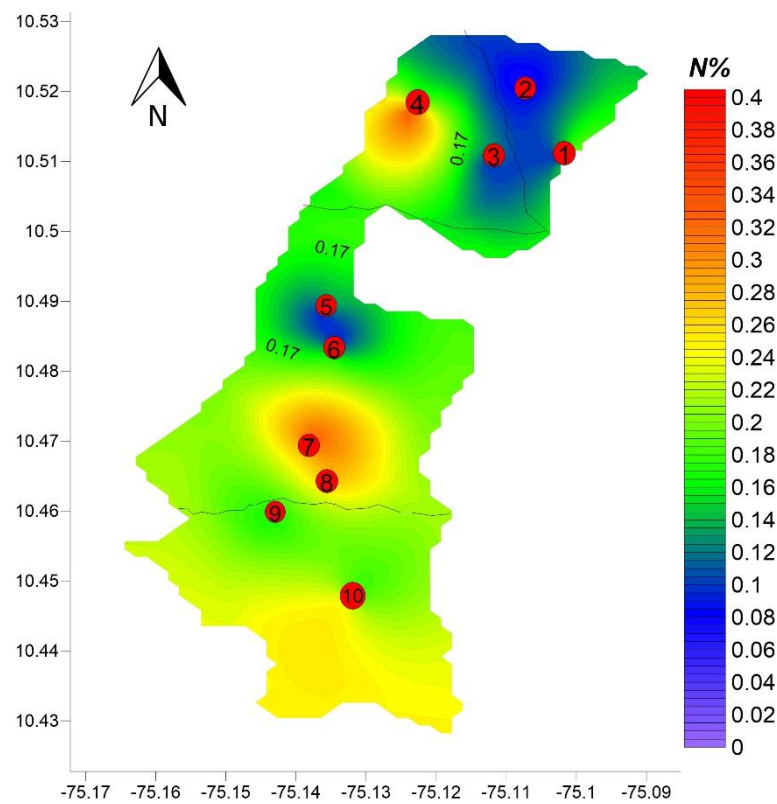
La Figura 3 expone la variabilidad de los parámetros de MO y N de acuerdo a las épocas de sequía y lluvia.



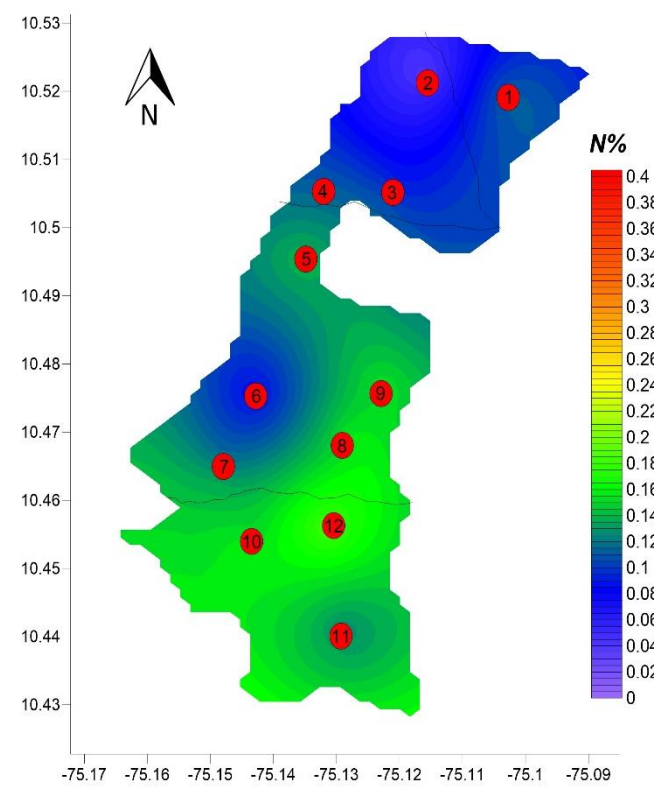
a) MO en época de sequía



b) MO en época de lluvia



c) N en época de sequía



d) N en época de lluvia

Figura 3. Parámetros con variabilidad estadística.

6.3.1 Correlación de los parámetros fisicoquímicos

La relación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo del Distrito de Riego de Repelón se analizó a través de la correlación Ordinal de Spearman (**Tabla 14**). El análisis muestra que el pH tuvo correlación con la CIC y el P; la humedad con la CIC; la MO con la CIC y con N; la CIC se relacionó de igual forma con N y P; el N con P.

Tabla 14. Correlación Ordinal de Spearman aplicada a las propiedades fisicoquímicas de los suelos evaluados.

	pH	Salinidad	Humedad	M.O.	C.I.C.	Nitrógeno
Salinidad	0,1678 (44) 0,2713					
Humedad	-0,0777 (44) 0,6105	-0,1547 (44) 0,3103				
M.O.	-0,0661 (44) 0,6648	0,0401 (44) 0,7927	0,1190 (44) 0,4354			
C.I.C.	-0,5992 (44) 0,0001*	-0,0923 (44) 0,5450	0,5060 (44) 0,0009*	0,3608 (44) 0,0180*		
Nitrógeno	-0,2933 (44)	-0,0461 (44)	0,0736 (44)	0,3457 (44)	0,3562 (44)	

	0,0544	0,7626	0,6292	0,0234*	0,0195*	
Fosforo	-0,3246	0,1460	-0,0564	0,2616	0,3805	0,4565
	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)	(44)
	0,0333*	0,3383	0,7117	0,0863	0,0126*	0,0028*

* Parámetros correlacionados

Como se puede observar la CIC es el parámetro que mejor se relaciona con las propiedades fisicoquímicas de los suelos agrícolas. Posiblemente está asociado a que las plantas, para lograr su desarrollo deben absorber la mayor cantidad de nutrientes. Para esto, el suelo debe proporcionar las condiciones óptimas con el fin que se pueda dar el intercambio de dichos cationes o nutrientes. Uno de los factores más influyentes en la CIC es la presencia de arcilla en el suelo, ya que esta se encuentra cargada negativamente, lo que permite atraer cargas positivas, en este caso cationes que se ven reflejados como nutrientes para el suelo (Gutierrez, 2016). Así mismo, la MO es una propiedad que posee cargas negativas, por lo tanto, también es receptora de cationes, es por esto, que se presentó una correlación entre estos dos parámetros.

Adicionalmente, el hecho de que la CIC se relacionara con la humedad se debe a que una buena CIC provee al suelo un incremento en la infiltración de agua, mejorando así su capacidad para la retención de humedad (Castellanos, 2016), además entre los principales nutrientes del suelo se destacan el potasio y el calcio los cuales son cationes; sin embargo cuando estos iones no son absorbidos de forma inmediata por las plantas o por la actividad microbiana, pueden correr el riesgo de ser lavados y quedar fuera de la solución del suelo (Gliessman, 2002).

La relación de la CIC con el pH, es de esperarse debido a que la acidez es un determinante de esta propiedad, ya que en el suelo existen dos tipos de iones que pueden ser retenidos, como los iones H^+ y el Al_3^+ los cuales generan pH bajo. Contradictoriamente, al haber cationes en el suelo como

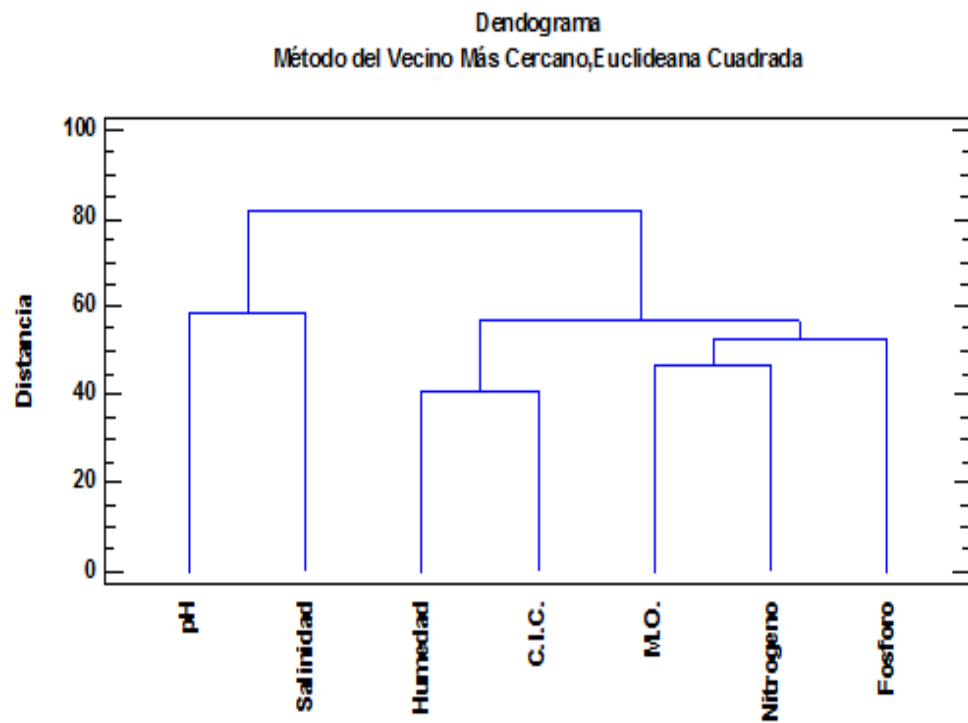
Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} , el ambiente iónico tenderá a ser neutro e incluso moderadamente alcalino. Por lo tanto al incrementar el pH aumenta la CIC (Ibáñez, 2007b). Esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que los suelos del Distrito de Riego de Repelón en su mayoría presentaron valores de pH neutros, razón por la cual se pudo evidenciar una CIC alta.

En síntesis, se puede decir que la CIC representa una gran importancia agronómica debido a la relación que tiene con los principales determinantes de la fertilidad en el suelo, ya que es el parámetro que permite el abastecimiento de nutrientes de las plantas.

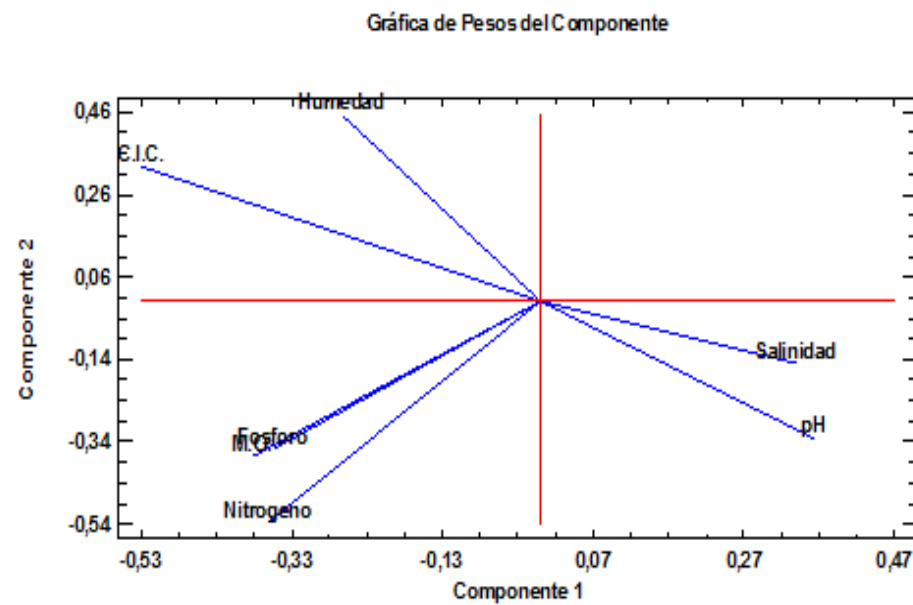
Además de la CIC, el N, la MO y el P presentaron una asociación entre sí, esto se debe, a que son los componentes primarios que determinan la calidad del suelo. La MO y el N son componentes que se relacionan entre sí, generando una relación C/N lo cual indica la disponibilidad de los nutrientes, fertilidad del suelo y estabilidad de agregados. Además a mayor cantidad de C/N, menor es la erosión del suelo y mayor potencial productivo. Así mismo el N y el P se encuentran ligados entre si ya que estos en conjunto también tienen como función la disponibilidad de nutrientes para las plantas y evitar la pérdida potencial del N. Teniendo en cuenta lo anterior, la presencia de estos elementos en simultáneo, ayudan a que se dé un buen desarrollo en los cultivos, además que se pueden utilizar como indicadores de productividad y calidad ambiental (Navarrete et al., 2011).

6.3.2 Agrupación de los parámetros fisicoquímicos

Según las distancias euclidianas y en análisis de componentes principales se pueden considerar tres grupos de variables fisicoquímicas (Gráfica 1), siendo el pH y la salinidad formadores el primer grupo; la humedad y la CIC del segundo grupo y los parámetros químicos MO, N y P el tercer grupo.



a)



b)

Figura 4. Grado de asociación de los parámetros fisicoquímicos, a) dendrograma; b) Análisis de componentes principales.

En el primer grupo, la asociación entre el pH y la salinidad del suelo, puede ser atribuida a que el pH del suelo se encuentra influenciado por la composición de los cationes intercambiables, la composición y concentración de sales solubles y la presencia o ausencia de yesos y/o carbonatos; las cuales afectan también el nivel de salinidad del suelo (Fundación produce Nayarit, 2010).

Los suelos salinos presentan, generalmente, un pH menor a 8.5, asociado a la presencia considerable de sales de calcio y magnesio. Por su parte los suelos salinos-sódicos presentan pH más o menos igual a 8.5 y rara vez superan este valor, debido a la concentración en una mayor proporción del sodio en el suelo. A diferencia de los suelos sódicos, cuya presencia de sodio es mayor y el pH varía entre 8.5 a 10 (Fundación produce Nayarit, 2010). Teniendo en cuenta esto, la medida de pH en el suelo puede funcionar como indicador de salinidad y para estimar el tipo de salinidad que presenta el suelo.

En el segundo grupo, la asociación entre humedad y CIC, está influenciada principalmente por la presencia de arcilla en el suelo. Las arcillas poseen ciertas características y propiedades que facilitan el intercambio de cationes. Dentro de dichas propiedades se puede resaltar la capacidad de absorción del agua y otras moléculas en el espacio interlaminar de las mismas (Universidad de Oviedo, 2014).

La CIC, será mayor en aquel suelo que posea mayor contenido de arcilla con alta capacidad de absorción (Garrido, 1993). Por lo que se podría decir que puede presentarse una mayor CIC en suelos con mayor contenido de humedad.

Para las plantas la disponibilidad de N y P constituye una limitación en el crecimiento y por lo tanto en la productividad de los cultivos, ya que, en acción junta, determinan el crecimiento y buen desarrollo de los mismos. La transformación de nitrógeno y la mineralización del fósforo, son procesos propios del suelo, así como la pérdida de N y la inmovilización del P. La implementación

de técnicas independientes del cultivo en los ecosistemas terrestres, han permitido ampliar la visión acerca de estos procesos, conociendo que existe una intervención de las comunidades microbianas las cuales tienen responsabilidad en estos procesos. La estructura de las comunidades microbianas, responde de manera positiva a los contenidos de materia orgánica y a los cambios en las fracciones orgánicas y minerales de los suelos, teniendo correlación, con la disponibilidad de los elementos como el nitrógeno y el fósforo e incluso, en algunos casos, con la productividad de los cultivos (Cerón & Fabio, 2012).

En el tercer grupo, la relación entre los parámetros MO, N y P, es notable debido a que son determinantes en la productividad del suelo, y podría decirse que tanto el P como el N del suelo presentan una relación directa con la MO, una relación directamente proporcional, ya que el contenido P disponible y el N tiene un aumento en el suelo cuando de igual forma aumenta la MO del mismo (Julca et al., 2006; Linares et al., 2008).

7. Conclusiones

Con la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón (textura, humedad, color, salinidad, pH, MO, N, CIC y P), se pudo evidenciar que la ausencia de actividad agrícola no afecta las propiedades fisicoquímicas del suelo y por el contrario se produce un comportamiento regenerativo de los mismos, aumentando así el potencial del suelo en términos de fertilidad. De igual manera, los suelos ocupados con cultivos presentan buena calidad, esto es posible por el bajo grado de afectación de las prácticas agrícolas del sector hasta el momento no presentan un grado de afectación considerable al suelo. Adicionalmente, el alto porcentaje de arcilla en la textura, proporciona al suelo condiciones adecuadas en la capacidad de absorción los nutrientes permitiendo a los parámetros determinantes de la fertilidad un estado óptimo para la producción agrícola.

Por otra parte, la diferencia estacional presentada en los parámetros de MO y el N pudo deberse a que el contenido de humedad es un factor determinante de estas variables, en este caso al aumentar el contenido de humedad, disminuye la disponibilidad de estos componentes en el suelo, lo cual no es muy beneficioso para la fertilidad del medio edáfico.

Adicionalmente la correlación de Spearman, permitió conocer que la capacidad de intercambio catiónico fue el parámetro que más relación tuvo con las variables fisicoquímicas del suelo, ya que este es el principal componente que permite lograr el desarrollo de las plantas, debido a que le proporciona la mayor cantidad de los nutrientes al suelo. Así mismo, a través de la agrupación de los parámetros fisicoquímicos se pudo conocer como estos están asociados en el suelo, formando tres grupos, compuestos por el pH y salinidad; CIC y humedad y el grupo de los compuestos principales de la fertilidad del suelo MO, N y P.

Finalmente se puede concluir que el municipio de Repelón, específicamente el Distrito de Riego correspondiente a la zona agrícola, a pesar de sufrir conflictos por uso del suelo, poseer un clima tropical húmedo-seco con altas temperaturas, cuenta con suelos con propiedades fisicoquímicas que permiten un buen desarrollo agrícola y excelente fertilidad natural.

8. Recomendaciones

En la actualidad la agricultura convencional es uno de los grandes retos que afronta el sector agrícola, ya que algunas prácticas contribuyen al deterioro de las propiedades del suelo, originando una subutilización de este medio que genera una disminución en el potencial agrícola.

Hoy día, existen numerosas formas de desarrollar la actividad agrícola, es por eso que se recomienda para el área del Distrito de Riego de Repelón, implementar alternativas diferentes, tales como la agricultura orgánica que busca eliminar en su totalidad los insumos de origen sintéticos (fertilizantes y plaguicidas) y sustituirlos por prácticas que promuevan la fertilidad del suelo ofreciendo nutrientes para las plantas y control de plagas. Para lograr esto se puede buscar apoyo por parte de entes gubernamentales que permita realizar capacitaciones a los agricultores, con el fin implementar nuevas estrategias de cultivos y conservar la calidad del suelo, de igual manera al aplicar estas técnicas, incrementaría la agricultura del municipio, fomentando el ingreso económico y mejorando la calidad de vida de las personas habitantes del sector.

Respecto a la investigación realizada se recomienda emplear planes de monitoreo en el suelo que permita tener reportes constantes sobre la calidad del medio edáfico. De esta manera, se podrá evidenciar con más facilidad las variaciones en las propiedades del suelo en función de las prácticas y manejo, permitiendo a su vez crear programas de acción y control que respondan a las alteraciones negativas y contribuyan a la conservación de la fertilidad en el suelo.

9. Bibliografía

- Abi-Saab, R. (2012). Evaluación de la Calidad del suelo, sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca, 2012, Utilizando indicadores de Calidad de Suelos. (Tesis de pregrado). Bogotá, D.C, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Alcaldía de Repelón-Atlántico. (2012). Información general. Obtenido de http://www.repelon-atlantico.gov.co/informacion_general.shtml#geografia.
- Amurrio, P., & Poma, V. (2015). Physicochemical properties and seasonal variations of soil in an altitudinal transect of the Lluto County, La Paz, Bolivia. *Revista Bolivariana de Química*. Vol. 32, No 4, 74-81.
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 90-97.
- Bonet, J. (1999). La agricultura del Caribe Colombiano, 1990-1998. Obtenido de Documentos sobre la Economía Regional, Banco de la República, sucursal Cartagena.
- Buol, S. W. 1995. Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic* 26:15-44.
- Castellanos, J. (2016). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. México: Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, Intagri.
- Castellanos, J. (2016). La Salinidad de los Suelos, un Problema que Amenaza su Fertilidad. México: Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, Intagri.
- Cerón, L. E., & Aristizábal, F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 285-295.
- Corbella, R., & Fernández, J. (2010). *Materia orgánica del suelo*. Tucumán, Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.

- Costa, J., & Ocete, C. (2009). Nitratos en el suelo. Obtenido de <http://www.ugr.es/~cjl/Nitrogeno%20en%20suelos.pdf>.
- Escolar, A. (2009). Ecosistemas acuáticos del departamento del atlántico. Corporación Autónoma Regional (CRA).
- Estupiñan, L. H., Gómez, J. E., Barrantes, V. J., & Limas, L. F. (2009). Efecto de Actividades Agropecuarias en las Características del Suelo en el Páramo El Granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 12 (2), 79-89.
- Firdous, S., Begum S., Yasmin. A. (2016). Assessment of soil quality parameters using multivariate analysis in the Rawal Lake watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188:533. doi:10.1007/s10661-016-5527-5.
- Fundacion para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental. (FUNDESYRAM). (2014). Manejo de la humedad del suelo. Obtenido de <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=4332>.
- Fundación produce Nayarit, A.C. (2010). Salinidad del Suelo. México: Gobierno Federal.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, vol. 35, No. 2, 125-138.
- Garrido, S. (1993). Interpretación de análisis de suelos. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- GAT. (2014). Salinidad en cultivos agrícolas. Obtenido de http://www.gatfertilizados.com/salinidad_cultivos.pdf.
- Gliessman, S. R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Costa Rica: LITOCAT.
- Graetz, H. (2002). Suelos y Fertilización. México D. F: Trillas.

- Guerrero, R. (2009). Fertilización de cultivos en clima cálido. Bogotá: Monómeros.
- Guerrero, M. (2010). Guía técnica del cultivo del plátano. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova".
- Gutiérrez, P. P. (2016). Capacidad de intercambio catiónico. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Henríquez, M., Pérez, J., Gascó, J., & Rodríguez, O. (2005). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro*, 59-62.
- Hu, K., Wang, S., Li, H., Huang, F., & Li, B. (2014). Spatial scaling effects on variability of soil organic matter and total nitrogen in suburban Beijing. *Geoderma*, 54-63.
- Huerta Cantera, H. E. (2010). Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro, y su relación con el crecimiento microbiano. (Tesis de pregrado). Querétaro, Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Ibáñez, J. J. (2007a). pH del Suelo. Madrid: Fundación para el Conocimiento madri+d.
- Ibáñez, J. J. (2007b). Complejo de cambio o complejo absorbente de los suelos. Madrid: Fundación para el Conocimiento madri+d.
- IIFT, Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. (2011). Instructivo técnico para el cultivo de la guayaba. CUBA: Biblioteca ACTAF.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2006). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Bogotá: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. (2007). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras. Departamento del Atlántico. Bogotá: IGAC.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC (25 de abril de 2014). Sucre y Atlántico lideran el “anti ranking” de los departamentos con más conflictos en el uso de sus suelos en el Caribe. Obtenido de [http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c09c6b0043e72ab79560ffd1f1265d23/Comunicado+Anti+ranking+de+suelos+Regi%C3%B3n+Caribe+-+Abril+25+\(2\).pdf?MOD=AJPERES](http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/c09c6b0043e72ab79560ffd1f1265d23/Comunicado+Anti+ranking+de+suelos+Regi%C3%B3n+Caribe+-+Abril+25+(2).pdf?MOD=AJPERES).
- Jamioy Orozco, D. D. (2011). Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero Colombiano. (Tesis de maestría). Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, D. (2002). La textura del suelo. Introducción a la ciencia de los suelos. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Biaogro* 25(1), 47-56.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia* (Chile), 49-61.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global change & food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Larson, W., & Pierce, F. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In W. Larson, & F.
- Linares, G., Valera, M., & Castillo, M. (2008). Relación del contenido orgánico y el nitrógeno en suelos forestales de Teziutlán, Puebla. Puebla, México: Universidad Autónoma de Puebla.

- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 68-96.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). Desarrollo de la fruticultura en el Atlántico. Obtenido de Plan Frutícola Nacional: http://asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_98_Plan%20Nal%20frut-atlantico.pdf.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (1991). Importancia del análisis químico del suelo para mejorar la producción agrícola. Obtenido de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_analisisquimico.pdf.
- Miralles Mellado, I. (2006). Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: Parque Natural de Sierra María los Vélez. (Tesis de doctorado). Granada, España: Universidad de Granada.
- Molina, E. (2011). Análisis de suelos y su interpretación. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
- Moreno D. R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH. México D.F.
- Munera, G., & Meza, D. (2012). El fosforo elemento indispensable para la vida vegetal. Pereira, Risaralda, Colombia: Universidad tecnológica de Pereira.
- Munsell., C. (2009). Munsell, Soil-Color Chart. Michigan: Munsell Color Company.
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. d. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80, 29-37.
- NTC (Norma Técnica Colombiana -5350). (2005). Calidad de Suelo. Determinación de Fósforo Disponible. Bogotá, D. C, Colombia.

- NTC (Norma Técnica Colombiana - 5264). (2008). Calidad de Suelo, Determinación del pH. Bogotá, D. C, Colombia.
- NTC (Norma Técnica Colombiana - 5889). (2011). Análisis de Suelos, Determinación del Nitrógeno Total. Bogotá, D. C, Colombia.
- NTC (Norma Técnica Colombiana - 5268). (2014). Calidad de Suelo. Determinación de la Capacidad e Intercambio Catiónico. Bogotá, D. C, Colombia.
- Oliva, D. P. (2009). Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua. (Tesis de pregrado). Honduras: Universidad Zamorano.
- Otero, L., Francisco, A. G., Morales, R., Inalvis, S., Labaut, M., Vento, M., Rivero, L. (2007). Caracterización y Evaluación de la Salinidad. Instituto de Suelos, Cuba, 1-9.
- Pérez López, E. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Intersedes vol. XIV. N° 29, 6-18.
- Piedrahita, O. (2011). Capacidad de Intercambio Catiónico. Obtenido de http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/CAPACIDAD%20DE%20INTERCAMBIO%20CATIONICO.pdf.
- Pingping, Z., & Ming' an, S. (2014). Spatial Variability and Stocks of Soil Organic Carbon in the Gobi Desert of Northwestern China. PLOS ONE. 9(4): e93584. doi:10.1371/journal.pone.0093584.
- Rhoades, JD; NA Manteghi; PJ Shoos & WJ Alves. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations Soil Science Society of American Journal. 53:433-439.

- Rincón Suárez, L. M. (2010). Caracterización fisicoquímica de algunos suelos de la zona de los municipios de Villanueva y Barichara-Santander. (Tesis de especialización). Universidad Industrial de Santander.
- Rojas, C. (2015). Disponibilidad de Fósforo y su corrección. Chile: Centro Regional de Investigación INIA la Platina.
- Rojas, C. (2015). Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile. Centro Regional de Investigación INIA la Platina.
- Rosas-Calleja, D., Ortiz-Laurel, H., Herrera-Corredor, J., & Leyva-Ovalle, O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencia de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad* vol. 9, Núm. 8, 18-23.
- Roveda, G., Andrea, P., Ramírez, M., Baquero, I., & Ricardo., G. (2012). Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Silvania para la producción de uchuva en Cundinamarca . *Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* , 179-188.
- Ruz, J. (1991). *Perfiles del Suelo*.
- Sadeghian, S., & Adriana, L. L. (2014). Variabilidad del suelo en lotes cafeteros. Manizales: Cenicafé.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.México.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Roma: FAO.
- Siavosh, S., Rivera, J., & Gómez, M. (1998). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Conferencia

- electrónica para la FAO: Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica (págs. 77-95). www.fao.org.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. (2013). Relación entre conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 31(1), 45-55.
- Solé, A., & Cantón, Y. (2005). Mejora de suelos salinos y control de la erosión en zonas áridas.
- Torres-Bejarano, F., Padilla Coba, J., Rodríguez Cuevas. C., Ramírez León. H & Cantero Rodelo. R. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño de Ingeniería*, 32(3): 163-172.
- Universidad de Oviedo. (2014). CERAMICAS / Propiedades de las arcillas. Obtenido de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.PropiedadesArcillas.pdf>.
- UPRA, & IGAC. (2015). Uso agrícola. En UPRA, *Leyenda de usos agropecuarios del suelo*. (pág. 79). Bogotá: Imprenta Nacional.
- Vallejo Quintero, V. E. (2013). Importancia y Utilidad de la Evaluación de la Calidad de Suelos Mediante Componente Microbiano: Experiencias en Sistemas Silvopastoriles. Colombia Forestal Vol. 16(1), 83-99.
- Vargas S, R. d., Serrato C, F., & Torrente T., A. (2015). Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un suelo Fluventic Ustropepts en la cuenca baja del río Las Ceibas - Huila. *Revista Ingeniería y Región*, 113-123.
- Vásquez, J. R., Baena, D., & Menjivar, J. C. (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, 449-456.

10. Anexos

Anexo 1. Clases por rangos de valores en la reacción (pH) de los suelos.

pH	Apreciación
>4.5	Extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.5	Neutro
7.6 – 8.0	Ligeramente alcalino
8.1 – 8.5	Moderadamente alcalino
8.6 – 9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

Anexo 2.

pH Óptimo según el tipo de cultivo		
Tipo de cultivo	pH	Interpretación del nivel de pH
Arroz	5.5 - 6.5	Fuertemente ácido - ligeramente ácido
Ahuyama	5.5 - 7.0	Fuertemente ácido - neutro
Banano	5.0 - 8.0	Muy fuertemente ácido - ligeramente alcalino
Caña de Azúcar	7	Neutro
Citricos (Limón, Naranja, Mandarina, Toronja)	6.0 - 7.0	Moderadamente ácido - neutro

Frijol	6.5 - 7.5	Ligeramente ácido - neutro
Guayaba	4.5 - 8.2	Muy fuertemente ácido - moderadamente alcalino
Maíz	5.5 - 8.0	Fuertemente ácido - ligeramente alcalino
Mango	5.7 - 6.5	Moderadamente ácido - Ligeramente ácido
Maracuyá	6.0 - 6.7	Moderadamente ácido - neutro
Melón	6.0 - 7.0	Moderadamente ácido - neutro
Papaya	6.0 - 7.0	Moderadamente ácido - neutro
Plátano	6.0 - 7.0	Moderadamente ácido - neutro
Patilla	5.0 - 6.8	Muy fuertemente ácido - neutro
Sorgo	5.0 - 8.5	Muy fuertemente ácido - moderadamente alcalino
Yuca	5.5 - 6.5	fuertemente ácido - ligeramente ácido
Ñame	5.5 - 6.5	fuertemente ácido - ligeramente ácido

Anexo 3. Consolidado del análisis de los parámetros fisicoquímicos de los suelos agrícolas del Distrito de Riego de Repelón.

Época	ZONA	Muestra	pH	Salinidad (ppm de sales)	Humedad (%)	M.O (%)	C.I.C (meq/100 g)	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)
Sequía	1	1	7.26	0.692	16.65	3.26	39.67	0.154	83.30
		2	6.81	0.235	16.75	5.84	39.70	0.07	105.62
	2	3	6.97	0.116	24.6	4.77	48.84	0.112	88.29
		4	7.23	0.159	16.05	6.72	32.73	0.266	112.28
	3	5	7.23	0.473	21.35	6.91	56.55	0.112	88.16
		6	7.20	0.314	16.15	6.42	45.07	0.126	88.44
		7	7.20	0.114	25.05	7.62	55.78	0.308	116.85
		8	6.56	0.159	8.15	3.67	41.96	0.266	107.72
	4	9	6.41	0.290	23.35	4.18	60.69	0.168	98.10
		10	6.45	0.080	22.3	4.58	65.07	0.21	121.64
Lluvia	1	1	7.55	1.462	25.00	2.88	33.50	0.112	90.60
		2	6.49	0.101	18.00	2.62	40.59	0.042	51.06
	2	3	7.44	3.526	17.50	3.17	33.37	0.098	93.83
		4	7.50	0.107	17.50	3.58	28.44	0.112	66.17
	3	5	6.96	0.280	26.20	4.78	59.06	0.14	102.61
		6	7.49	0.071	17.60	3.27	31.28	0.084	53.57
		7	7.07	0.114	21.80	4.29	44.82	0.126	108.99
		8	6.00	0.138	21.10	5.22	69.92	0.154	83.46
		9	7.22	0.087	16.00	5.28	53.38	0.154	58.10
		10	6.96	0.132	27.60	4.99	67.03	0.154	113.10
	4	11	6.85	0.132	26.50	3.95	71.45	0.126	104.05
		12	6.58	0.129	26.00	5.20	64.03	0.182	121.34

Anexo 4. Registro fotográfico



Cultivo de maíz



Área en descanso con cobertura vegetal



Área en descanso



Área en preparación



Cultivos de yuca y plátano



Árboles de guayaba dispersos



Cultivo de plátano